



FUNK UND TON

Monatsheft für Hochfrequenztechnik und Elektroakustik

AUS DEM INHALT

Prof. Dr. H. v. KLÜBER: Ionosphäre und Sonnenforschung

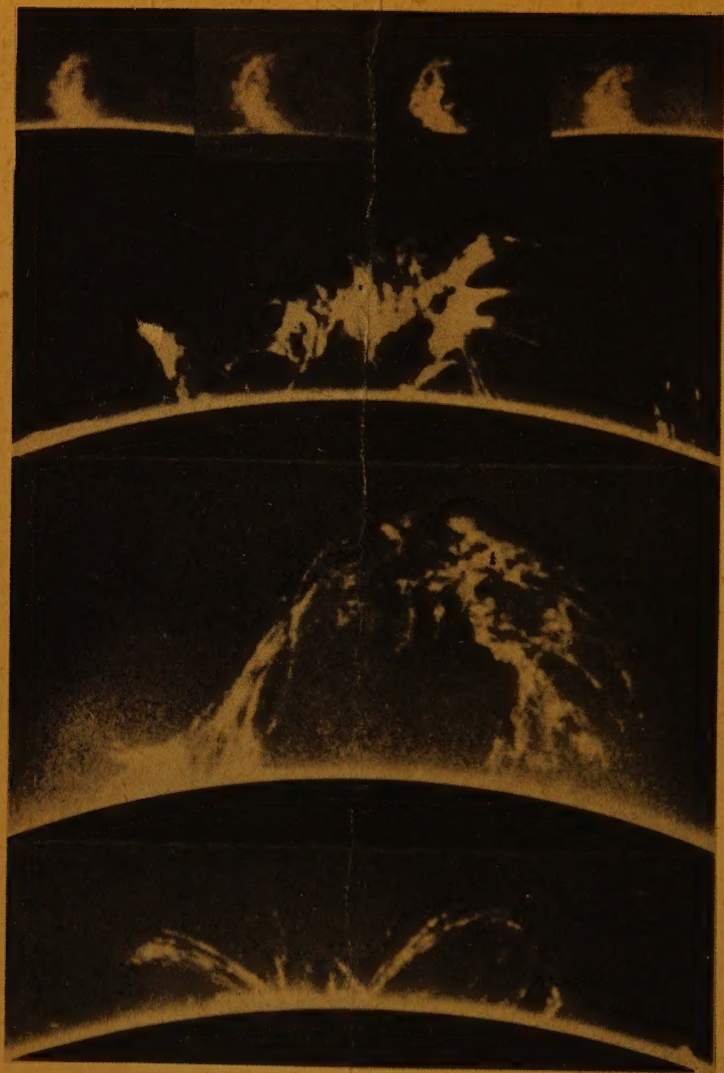
Dr. ETZOLD: Zweikanal mit Frequenz- und
Amplitudenmodulation

HARRY HERTWIG: Die Verwendung stimmgabelgesteuerter
Wechselrichter als frequenzkonstante Wechselstromquelle

Dr.-Ing. PAUL G. VIOLET: Ultrakurzwellen-Ausbreitung

HEFT 2 · 1947 · PREIS 3 MARK

VERLAG FÜR RADIO-FOTO-KINOTECHNIK G.M.B.H.



Zu unserem Beitrag „Ionosphäre und Sonnenforschung“

Abb. 16. Beispiel einiger Sonnenprotuberanzen am Sonnenrande, aufgenommen monochromatisch im Lichte der Wasserstofflinie H_{α} (λ 6562,8 Å). Die Materie kann hierbei mit Geschwindigkeiten von Hunderten von Kilometer in der Sekunde aufsteigen, und sie bewegt sich häufig in wohldefinierten und offenbar durch magnetische Kräfte bestimmten Bahnen, wie kinematographische Zeitrafferaufnahmen sehr schön zeigen. Von solchen Stellen dürften möglicherweise auch ionosphärisch wirksame Partikelstrahlungen ausgehen (Aufn. B. Lyot)

Prof. Dr. H. v. KLÜBER

Astrophysikalisches Observatorium (Einsteinurm) Potsdam

Ionosphäre und Sonnenforschung

Vorbemerkung

Es ist schon seit langem bekannt, daß Fernübertragungen im Kurzwellengebiet und die dabei erzielbaren außerordentlichen Reichweiten nur möglich sind durch Reflexion der Kurzwellen an den verschiedenen Schichten der Ionosphäre. Wir wissen ferner seit einiger Zeit, daß diese wie üblich von unten nach oben als D, E, F_1 und F_2 bezeichneten Schichten in Höhen von etwa 70 bis 400 km über dem Erdboden (siehe Tabelle 1) fast ausschließlich (und nur mit gewissen Ausnahmen in den polaren Gegenden der Erde) unter dem Einfluß einer ionisierenden, elektromagnetischen Wellenstrahlung der Sonne zustande kommen. Die nähere Verfolgung dieser Zusammenhänge hat in neuester Zeit ein Forschungsgebiet eröffnet, das gleichermaßen die Funktechnik und die Sonnenphysiker interessiert. Der Funktechniker wünscht insbesondere seitens der Sonnenphysik und der ständigen Sonnenbeobachter Deutung und Erklärung gewisser ionosphärischer Vorgänge und Störungen sowie weiterhin möglichst auch Anweisungen für zweckmäßige Übertragungsfrequenzen und Prognosen für etwa bevorstehende Funkstörungen. Die Beobachtungen und Methoden der Funkmeßtechnik andererseits erlauben dem Astrophysiker wichtige Rückschlüsse auf sonst nicht beobachtbare Wellen- und Korpuskularstrahlung der Sonne zu ziehen und helfen ihm, deren Quellen auf der Sonne selbst zu lokalisieren.

Über diese Beziehungen der Hochfrequenztechnik zur Sonnenforschung soll im Nachfolgenden kurz berichtet werden. Viele Zusammenhänge und Tatsachen sind noch nicht ausreichend erforscht oder gesichert, so daß — für die Forschung besonders reizvoll — vorwiegend die Problemstellung und die bisherigen Lösungsversuche zur Darstellung kommen und die Zusammenhänge so, wie sie sich uns beim augenblicklichen Stande der Forschung zu erweisen scheinen. Auch den mitgeteilten, oft nur genäherten Zahlenwerten kommt darum vorerst mehr die Aufgabe zu, über die vorkommenden Größenordnungen überhaupt zu orientieren, als genaue Werte zu vermitteln.

Beobachtungsbefunde

Die Methoden der Funkmeßtechnik [1], auf die wir im Rahmen dieser Zeitschrift nicht näher einzugehen brauchen, liefern mittels eines speziell gebauten Impulssenders, der einen möglichst großen Frequenzbereich beherrschen soll (Durchdrehsender) und mit der üblichen Registrier-Anordnung der Braunschen Röhre ohne weiteres zwei wichtige ionosphärische Daten. Aus der Echo-Laufzeit läßt sich erstens sofort die (virtuelle) Höhe der verschiedenen reflektierenden ionosphärischen Schichten ansehen. Aus der sog. kritischen Frequenz (Grenzfrequenz) f_c das heißt aus der kürzesten, bei senkrechtem Einfall noch eben reflektierten Welle folgt ferner zweitens sogleich die wirksame maximale Zahl N_{\max} der negativen elektrischen Elementarladungen pro cm^3 einer Schicht nach der einfachen, fundamentalen Beziehung

$$N_{\max} = \frac{\pi \cdot m}{e^2} \cdot f_c^2 \quad (1)$$

Hier bedeutet m die Trägermasse und e die Elementarladung. Über die Träger selber gewinnt man Aufschluß durch Beobachtung der vom allgemeinen Magnetfelde der Erde erzeugten Doppelbrechung und des Polarisationszustandes der zurückkommenden Welle. Denn dabei geht das Verhältnis e/m ein und es zeigt sich, daß als Träger ganz vorwiegend Elektronen und nicht die wesentlich schwereren Ionen in Frage kommen, obwohl natürlich auch diese in großer Zahl in allen Schichten vorhanden sein müssen. Die durchschnittlichen Elektronendichten der 4 ionosphärischen Schichten und andere genäherte physikalische Daten für diese finden sich nach verschiedenen Quellen [2] [6] [7] zusammengestellt in Tabelle 1.

Tabelle 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Schicht	Charakterisierung	Mittl. Höhe	Mittl. Temp.	Wichtig. Bestandteile	Ionisations-Prozeß	Ergebnis der Ionisation	Ionisations-Potential in Volt	Ionisierende Wellenlänge in A.E.
		km	°C					
Erd-boden	Übertragung der Bodenwellen Kurzwellen-Nahverkehr	0	+ 15	O_2, N_2	—	—	—	—
D	Reflexion von Langwellen am Tage Dämpfung für Kurzwellen, extrem beim Mägel-Dellinger-Effekt nur bei Tage	80	— 70	O_2, N_2, O	Anregung von O-Atomen durch UV-Strahlung + StöBe 2. Art	$O^+ + 2e$	10,13 + 0,75	Lyman α = 1215,7
E	Reflexion von Mittel- und Kurzwellen nur am Tage	100	+ 100	O_2, N_2, O	Fotoionisation des O_2 -Moleküls	$O^+ + e$	16,1	740 bis 660
F ₁	Reflexion von Kurzwellen am Tage und vorwiegend im Sommer	200	+ 600	O, N_2, N	Fotoionisation des N_2 -Moleküls	$N^+ + e$	16,9	< 660
F ₂	Reflexion von Kurzwellen auch nachts	300 bis 800	+ 600 bis +1000	O, N_2, N	Fotoionisation des O-Atoms	$O^+ + e$	13,6	910 bis 740

Wir fragen uns, wie diese Elektronen-konzentrationen der einzelnen Schichten zustande kommen und stoßen dabei zunächst auf die notwendige, aber im Augenblicke noch nicht sicher zu beantwortende Frage nach der Konstitution der hohen Atmosphärenschichten überhaupt. Immerhin dürfen wir sicher sein, daß für unsere Untersuchungen in dem ganzen hier in Frage kommenden Höhenbereich unserer Atmosphäre nur die Gase Sauerstoff und Stickstoff eine Rolle spielen. Sie werden bis in eine Höhe von vielleicht 80 km ganz vorwiegend in molekularer Form angetroffen, weiter hinauf werden erst Sauerstoff, später Stickstoff zunehmend in atomarer Form auftreten. Eine ungefähre Vorstellung von Zusammensetzung und Temperaturverlauf der hohen Atmosphäre vermittelt das Schaubild Abb. 1, weitere Daten sind in Tabelle 1 enthalten.

Es ist zu erwarten, daß uns schon in nächster Zukunft durch die neuartigen und schon in Angriff genommenen Möglichkeiten der Raketenanstiege über diese wichtigen Gebiete der Atmosphäre sehr viel genauere Daten bekannt werden.

Die Ionisation der Gase in den ionosphärischen Schichten geschieht nun offenbar ganz vorwiegend durch Absorption sehr kurzwelliger ultravioletter

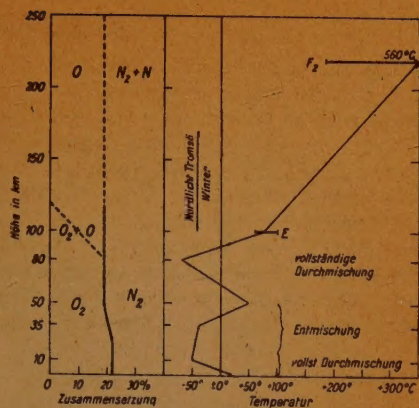


Abb. 1. Ungefährer schematischer Aufbau der Atmosphäre (nach R. Penndorf)

Tabelle 1

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Teilen- zahl pro cm ³	Mittl. freie Weg- länge cm	Stoßzahl pro cm ³ und sec	Elek- tronen pro cm ³	Neg. Ionen pro cm ³	Pos. Ionen pro cm ³	Von Sonne her einfallende Quanten pro cm ³ und sec	Schwarze Strahlung der Sonne in Quanten pro cm ³ und sec	Amplituden einfallender UV-Strahl. im Laufe des Sonnenzyklus	Hauptsächl. vermutete Strahlungs- quelle auf der Sonne
$2,6 \cdot 10^{19}$	$9,5 \cdot 10^{-8}$	$6,7 \cdot 10^{28}$	—	—	—	—	—	—	—
$6 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{19}$ Während Mögel- Döl- linger- Effekts	$> 10^9$	$> 10^9$	$> 10^9$	10^{15} bei mittl. Eruption	mittl. Energie einer Eruption $= 2 \cdot 10^{40}$ La Quanten $= 3 \cdot 10^{29}$ Erg $= 10^{15}$ kWh $= 10^{15}$ kcal	—	plötzliche kurzzeitige Verstärkung für Minuten durch Erup- tion
$3 \cdot 10^{18}$	9	10^{17}	$10^5 \dots 10^6$	10^9	10^9	$4,2 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^5$	1 : 2,4	Korona und Fackeln
10^{10}	10^4	(10^{11})	$2 \cdot 10^9$ $\dots 2 \cdot 10^6$	10^9	10^9	$2,1 \cdot 10^9$	$9,0 \cdot 10^3$	1 : 2,6	Korona
$10^9 \text{—} 10^7$	10^7	(10^8)	10^7	—	10^6	$4,2 \cdot 10^{10}$	$5,5 \cdot 10^7$	1 : 12,1	Fackeln

Sonnenstrahlung. Dabei entstehen in erster Linie ionisierte Sauerstoff- und Stickstoffmoleküle, in der F_2 -Schicht auch schon viele ionisierte Sauerstoffatome und in allen Schichten entsprechende Mengen freier Elektronen. Die in Frage kommenden Ionisationspotentiale V sind im wesentlichen bekannt (Tabelle 1, Spalte 8), und aus ihnen läßt sich die größte für die Ionisation eben noch ausreichende Wellenlänge λ aus der bekannten $h\nu$ -Beziehung der Photoionisation sofort berechnen nach dem einfachen Zusammenhang

$$\lambda = \frac{c \cdot h}{e \cdot V} = \frac{12395}{V} \quad (2)$$

für V in Volt und λ in Ängström-Einheiten; h bedeutet die Plancksche Konstante ($= 6,62 \cdot 10^{-27}$ Erg. sec) und c die Lichtgeschwindigkeit. Man findet dann sofort, daß es sich um Wellenlängen von etwa $\lambda = 910 \text{ \AA}$ abwärts bis vermutlich $\lambda = 661 \text{ \AA}$ handeln muß, die in Einzellinien und verschiedenen Banden und Grenzkontinua wirksam sind. Der ionisierenden Sonnenstrahlung entgegen wirken andererseits die Anlagerung von Elektronen an Moleküle und Atome und ganz vorwiegend natürlich die Rekombination der freien Elektronen mit positiven Ionen. Dadurch verschwinden laufend wieder Ladungsträger, und es kann sich ein wohldefinierter Gleichgewichtszustand ausbilden. Die diese Prozesse beherrschenden Koeffizienten sind nur mangelhaft bekannt, so daß man aus der beobachteten Elektronendichte vorerst nur unsicher auf den Absolutwert der Energie der ionisierenden Sonnenstrahlung schließen kann, welche den Astrophysiker natürlich besonders interessiert.

Daß die Ausbildung der ionosphärischen Schichten ganz vorwiegend durch die Sonnenstrahlung gesteuert und sogar durch Vorgänge auf der Sonne laufend beeinflusst wird, dafür gibt es verschiedene anschauliche Beweise. Die verhältnismäßig leicht meßbaren kritischen Frequenzen nach Formel (1) geben ja ein Maß für die Zahl der jeweils vorhandenen Ladungsträger und damit offenbar ein gutes relatives Maß für die ionisierende Wirkung der Sonnenstrahlung. Langjährige Registrierungen zeigen mit aller Deutlichkeit einen täglichen und

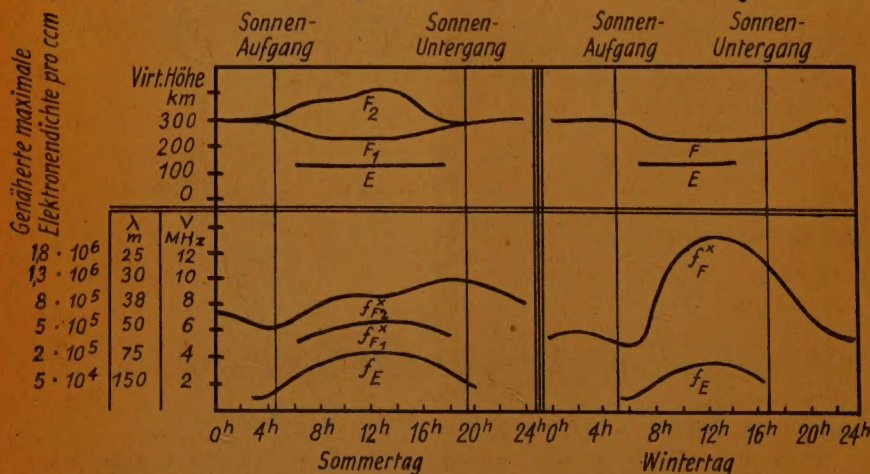


Abb. 2 Schematischer Gang der Grenzfrequenzen f , der maximalen Zahl der Ladungsträger und der virtuellen Höhen der ionosphärischen Schichten mit Bezug auf Tageszeit (Abszisse) und Jahreszeit für eine mittlere Breite der Nordhalbkugel der Erde. Die Abhängigkeit von der wirksamen Sonnenhöhe ist aufs Deutlichste ausgeprägt

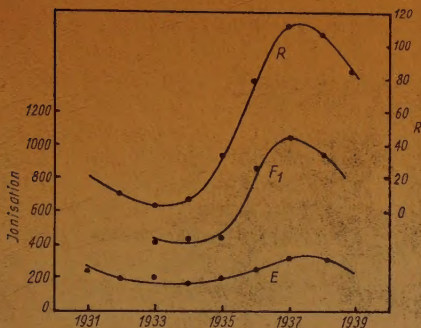


Abb. 3. Gang der Ionisation in der E- und F-Schicht mit der als Maßzahl für die Sonnenaktivität dienenden Sonnenflecken-Relativzahl R für die Zeit von 1931 bis 1939. Ein Fleckenminimum lag bei 1933,8, ein etwas überdurchschnittliches Aktivitäts-Maximum bei 1937,4 (nach E. V. Appleton und R. Nashmith)

dzität, wofür die Abb. 3 und 4 Beispiele aus verschiedenen Quellen zeigen. Das soll natürlich noch keineswegs bedeuten, daß wir etwa die Sonnenflecke selbst unmittelbar als Quelle der starken und veränderlichen Ionisierungsursache anzusehen hätten. Es liegt vielmehr so, daß fast alle zeitlich veränderlichen Vorgänge auf der Sonne in einem etwa 11jährigen Zyklus ablaufen und dabei so eng mit den besonders einfach und schnell beobachtbaren Flecken-Relativzahlen korreliert sind, daß diese Maßzahl auch für die allermeisten andern Sonnenvorgänge wie Protuberanzen, Fackelflächen usw. vorzüglich passen. Es ist daher nicht überraschend, daß auch die ionosphärisch erschlossene extraterrestrische ultraviolette Sonnenstrahlung typische Korrelationen zur Sonnenflecken-tätigkeit zeigt. Auf die vermutlichen Strahlungsquellen kommen wir weiter unten zurück.

Besonders eindrucksvoll tritt der Zusammenhang zwischen Sonnenstrahlung und Ionisation der Ionosphäre bei totalen Sonnenfinsternissen in Erscheinung. Dies Naturphänomen bietet uns zugleich ein erwünschtes Mittel, um über die bisher nur relativ bekannte Stärke der Ionisation hinaus zu einer ungefähren und sozusagen experimentellen absoluten Abschätzung der

jährlichen Gang der Ionisation, der sehr gut der wechselnden Höhe der Sonne über dem Beobachtungsorte folgt (Abb. 2). Die Wahl zweckmäßiger Übertragungsfrequenzen im Funkverkehr zwischen Tag und Nacht, Sommer und Winter wird wesentlich durch diese Tatsache bestimmt. Es ist ferner bekannt, daß sehr viele Vorgänge auf der Sonne in einer ungefähr elfjährigen Periode ablaufen. Als Maßzahl für diese wechselnde Aktivität der Sonne haben die Astronomen sich angewöhnt, die jeweilige Sonnenflecken-Relativzahl R zu benutzen. Die Ionisation der Ionosphäre folgt aufs Deutlichste dieser durch den Gang von R charakterisierten Sonnenperiode

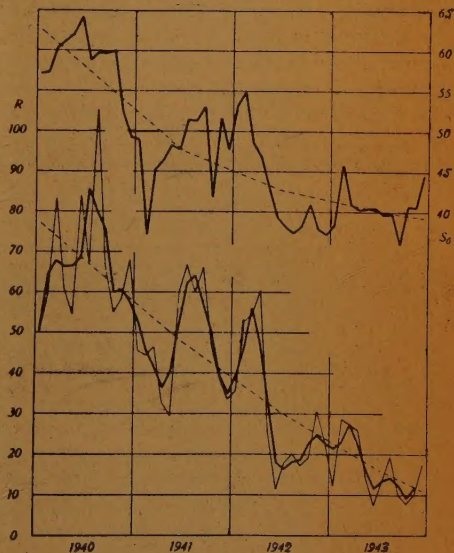


Abb. 4. Aus Registrierungen der Ionosphären-Versuchstation Herzogstand erschlossene extraterrestrische, relative, auf die E-Schicht wirkende kurzwellige Strahlungsintensität S_0 der Sonne im Vergleich mit den Sonnenflecken-Relativzahlen R . Nach monatlichen (dünne Kurve) und dreimonatlichen (dicke Kurve) Mittelwerten aus den Jahren 1940 bis 1943. Absteigender Ast im Zyklus der Sonnenaktivität, deren Minimum 1944,2 eintrat (n. M. Waldmeyer)

Trägerproduktion in den ionosphärischen Schichten und damit auch der auslösenden Sonnenstrahlung zu gelangen. Solange nämlich die Sonne während der Finsternis durch die Mondscheibe völlig abgedeckt wird (was im Höchstfalle nur wenige Minuten dauert), solange wird auch die ionisierende Sonnenstrahlung völlig abgeschirmt und die beobachtbare Elektronendichte in der E- und F_1 -Schicht sinkt in dem Zeitraum von der Größenordnung einer Minute bedeutend ab, wie Abb. 5 veranschaulicht. Für die hohe F_2 -Schicht ergeben sich wesentlich längere Zeiten.

Man kann aus diesen Zeiten die Trägerproduktion abschätzen, die unter normalen Verhältnissen nötig ist, um die gewöhnlich beobachtete Ionisation aufrecht zu erhalten. Man erhält somit ein Maß für die absolute extraterrestrische Strahlungsintensität der wirksamen Wellenstrahlung. Man findet die ebenfalls in der Tabelle 1, Spalte 16 zusammengestellten Größenordnungen umgerechnet gleich auf Quanten pro cm^2 und Sekunde. Im Laufe des 11jährigen Zyklus der Sonnentätigkeit scheint dieser extraterrestrische Strahlungsstrom ebenfalls zu schwanken (Abb. 3 und 4) mit Amplituden von etwa 1:2 für die E- und F_1 -Schicht und mit 1:12 für die F_2 -Schicht (Tabelle 1, Spalte 18) und in guter linearer Abhängigkeit von der jeweiligen Flecken-Relativzahl.

Hier stoßen wir nun auf ein astrophysikalisch sehr interessantes Phänomen. Im ganzen optisch beobachtbaren Spektralbereich, also vom Ultraroten bei λ 25000 Å bis etwa zur ultravioletten Wellenlänge von λ = 2500 Å läßt sich die Sonnenstrahlung, wie auch theoretisch zu erwarten, ganz gut durch die Strahlung eines schwarzen Körpers von etwa 5700° K darstellen. Rechnet man aber mit diesem Strahlungsgesetz weiter in den bisher noch unbekannten ultravioletten Spektralbereich der Sonne hinein bis zu den die Fotoionisation erzeugenden Wellenlängen von λ = 600 bis 900 Å (Tabelle 1, Spalte 17), so zeigt es sich, daß die Sonnenstrahlung nach dieser Rechnung nicht entfernt die nach obiger Abschätzung zur Aufrechterhaltung der irdischen Ionosphäre erforderliche Energie aufbringen könnte. Diese und andere ionosphärische Rechnungen führen uns vielmehr durchaus zu dem Schluß, daß die Sonne in dem hier betrachteten fernen Ultraviolett etwa in der Größenordnung von 5 Zehnerpotenzen intensiver strahlt, als man es nach ihrer Oberflächentemperatur erwarten dürfte. Dies hier sehr indirekt erschlossene interessante Ergebnis findet in verschiedenen anderen sonnenphysikalischen Beobachtungen eine Stütze und dürfte heutzutage wenigstens der Größenordnung nach schon durchaus gesichert sein. Denn schon die obersten Schichten des Sonnenkörpers selber zeigen bei astrophysikalischen Untersuchungen eine nach außen immer mehr zunehmende Abweichung von dem zu erwartenden thermischen Gleichgewicht im Sinne einer mit der Höhe über der Sonnenoberfläche immer mehr steigenden Überanregung.

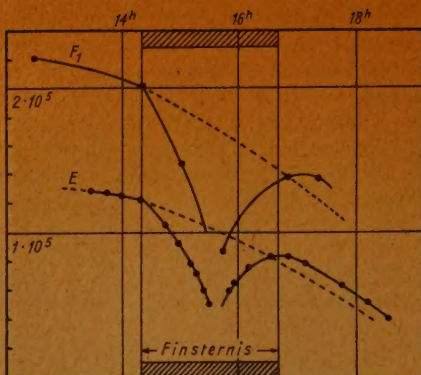


Abb. 5 Einfluß einer totalen Sonnenfinsternis auf die Ionisation in der E- und F_1 -Schicht. Die Zahl der Ladungsträger folgt mit sehr geringer Trägheit der jeweiligen Phase der Finsternis; Abszisse: Zeitskala; Ordinate: Elektronendichte in cm^3 ; gestrichelte Kurve: Durchschnitt der umgebenden ungestörten Tage; ausgezogene Kurve: Beobachtungen während der Finsternis vom 31. August 1932 (nach Kirby, Berkner, Gilliland und Norton)

Neben dem Zusammenhange mit dem Sonnenstande und mit der allgemeinen Sonnenperiode gibt es nach Untersuchungen aus neuester Zeit [6] zwischen astrophysikalischen Beobachtungen und der ionosphärisch indirekt erschlossenen Intensität der ionisierenden ultravioletten Sonnenstrahlung noch einen weiteren interessanten Zusammenhang. Mit einem besonderen optischen Kunstgriff (Koronograph von Lyot) ist es bekanntlich seit einigen Jahren möglich, gewisse helle Emissionslinien der Sonnenkorona, also der äußersten sehr dünnen Atmosphärenhülle der Sonne, unter günstigen klimatischen Verhältnissen fast an jedem klaren Tage zu beobachten. Die hierbei vorwiegend beobachtete grüne Koronalinie bei $\lambda = 5303 \text{ \AA}$ des 14fach ionisierten Eisens zeigt im Laufe von Tagen bedeutende Intensitätsschwankungen. Die bisherigen Beobachtungen zeigen deutlich, daß diese grüne Koronalinie zu den Zeiten verstärkter ionosphärisch wirksamer Sonnenstrahlung schwächer leuchtet. Die Struktur der Korona ändert sich nun verhältnismäßig langsam und läßt sich in der Regel über Tage hinaus gut verfolgen. Wir können die Korona nur am Sonnenrande beobachten, vor der hellen Sonnenscheibe ist sie natürlich vollkommen unsichtbar. In der Mitte der Sonnenscheibe aber steht sie der Erde gerade gegenüber und entfaltet dann vermutlich ihre größte terrestrische Wirksamkeit. Wegen der Sonnenrotation (27 Tage) können wir sie aber nur eine Woche vor oder nach diesem Zeitpunkt am Rande wahrnehmen und untersuchen. Beobachtungen der Korona an dem sich auf uns zudrehenden Ostrande der Sonne zeigen also vermutlich schon eine Woche vorher jene Stellen auf der Sonne an, welche möglicherweise verstärkte Fotoionisation der Ionosphäre auf der Erde erzeugen könnten. Koronabeobachtungen, die mit diesem Hinblick neuerdings regelmäßig und laufend gemacht werden, sind also wahrscheinlich für die Prognose der Kurzwellenausbreitung besonders wichtig.

Wir stellen uns nun die naheliegende Frage, welches die Stellen und Vorgänge auf der Sonne eigentlich sein mögen, die für die starke und wechselnde Ionisation unserer oberen Atmosphärenschichten verantwortlich sind. Gelingt es, sie zu ermitteln und etwa der laufenden Beobachtung zugänglich zu machen, so wäre neben wichtigen und für die weitere Forschung fruchtbaren Erkenntnissen ein Weg gewonnen für eine aussichtsreiche und sehr erwünschte Prognose

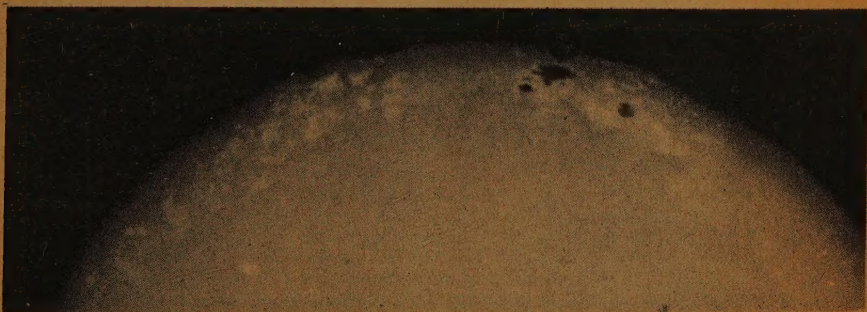


Abb. 6. In der Nähe des Sonnenrandes, von wo wir bei schrägem Aufblick auf eine G... häre nur Licht aus den höchsten Schichten bekommen, kann man sehr häufig im gewöhnlichen Lichte etwas hellere, unregelmäßig gestaltete und veränderliche Gebiete, die sog. Fackeln, erblicken. In der Mitte der Sonnenscheibe, wo wir bei steilerem Aufblick bis zu tieferen Schichten hindurchblicken, werden sie unsichtbar. Es handelt sich um überhitzte Gebiete der obersten Schichten, also um eine Temperaturinversion, und wir dürfen hier die Quelle einer relativ intensiven, ziemlich rasch veränderlichen ultravioletten Wellenstrahlung ($\lambda 910...740 \text{ \AA}$) vermuten, die vorzugsweise auf die F_2 -Schicht wirkt (Aufn. Obs. Potsdam)



Abb. 7. Vergrößerter Ausschnitt einer Aufnahme der Sonnenoberfläche im gewöhnlichen Licht, welche die kornartige Struktur der Sonnen-Granulation zeigt. Die hellen „Körner“ (~ 1000 km Durchmesser) entsprechen den aus der dünnen, oberflächennahen Wasserstoff-Konvektionszone aufsteigenden Turbulenzelementen. Sie liefern wahrscheinlich eine von der ganzen Sonnenoberfläche gleichmäßig ausgehende ständig erhöhte Ultraviolettstrahlung im Lyman-Gebiet ($\lambda 1215,7 \text{ \AA}$), die vornehmlich zur Schaffung von Ladungsträgern in der D-Schicht dient und wahrscheinlich zur Anregung der Korona beiträgt (Aufn. v. Klüber)

außerordentlich hohen Ionisationszuständen (bis über 600 eV) entsprechen. Die Elektronendichte dürfte dort etwa bei 10^8 Elektronen pro cm^3 liegen und die Temperatur erreicht, wie wir mit ziemlicher Sicherheit wissen, die außerordentliche Höhe in der Größenordnung von 10^6 Grad gegenüber nur 6000° an der eigentlichen sichtbaren Sonnenoberfläche selber. Eine überschlagsmäßige Rechnung zeigt [6], daß unter diesen Verhältnissen die Korona möglicherweise imstande ist, den erforderlichen hohen Bedarf an ionisierender ultravioletter Strahlung unterhalb etwa $\lambda = 700 \text{ \AA}$ zu decken. Sie könnte also tatsächlich zum Aufbau der E- und F_1 -Schicht wesentlich beitragen.

Weitere übertemperierte Gebiete, die einen merklichen Ultraviolett-Überschuß auszustrahlen vermögen, darf man ferner in

der Kurzwellenausbreitung und für die reguläre Vorausbestimmung eines „Funkwetters“.

Man kann ohne weiteres sagen, daß die außerordentlich kurzwellige Strahlung der Sonne, welche unsere Ionosphäre verursacht, notwendig in allen Gasen einer starken Absorption unterliegt und darum nur aus den allerobersten Schichten der Sonne stammen kann. Es ist zunächst naheliegend, in der ausgedehnten Koronahülle (Abb. 17) der Sonne selber diese Strahlungsquelle zu vermuten. Zuzufolge der spektroskopischen Untersuchung leuchtet die Korona nahe dem Sonnenrande diffus in dem an sehr schnell bewegten Elektronen gestreuten Sonnenlicht. Außerdem beobachtet man dort eine beschränkte Zahl von Emissionslinien, hauptsächlich des Eisens und des Nickels, die

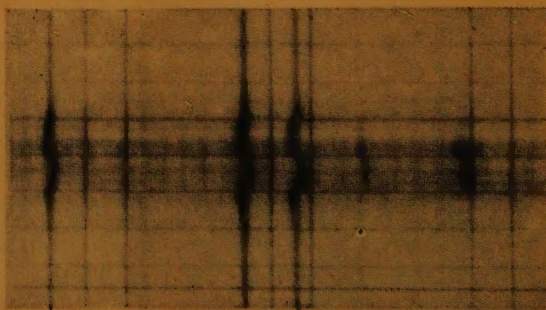


Abb. 8. Spektroskopischer Beweis für das Vorhandensein starker (bis ~ 3500 Gauss) Magnetfelder über Sonnenflecken. Dieser Ausschnitt aus einem mit einer besonderen Polarisationsoptik aufgenommenen Sonnenflecken-Spektrum vom 2. Oktober 1943 zeigt z. B. bei der Fraunhoferschen Absorptionslinie $\lambda 6302,5 \text{ \AA}$ über einem Sonnenfleck, dem im dargestellten Spektrum der horizontale Streifen der Bildmitte entspricht, eine starke Zeeman-Aufspaltung und richtige zirkuläre Polarisation der Komponenten, Magnetische Feldstärke (nordpolar) etwa 2500 Gauss. Rechts und links der Linie schmale, erst in der Erdatmosphäre entstehende und daher ungestört verlaufende Absorptionslinien des irdischen Sauerstoffmoleküls. Diese sich oftmals schnell auf- und abbauenden lokalen Magnetfelder von der Größenordnung vieler Erddurchmesser dürften eine wichtige Rolle für die Energie- und Strahlungsbilanz vieler solarer Vorgänge spielen (Aufn. v. Klüber)

den Fackelflächen der Sonnenoberfläche sehen. Diese unregelmäßig gestalteten, ständig wechselnden Flächengebiete begleiten stets die Sonnenflecke, treten aber häufig auch ohne diese auf (Abb. 6). Sie können im unzerlegten Sonnenlichte vornehmlich in der Nähe des Sonnenrandes wahrgenommen werden, woselbst sie ein wenig heller als ihre Umgebung erscheinen, und sie verraten durch dies Verhalten die in ihnen herrschende Temperaturinversion und die höhere Temperatur ihrer obersten Schichten. Es ist möglich, daß ihr Strahlungsüberschuß quantitativ ausreicht, um im Wellenlängenbereich oberhalb $\lambda = 700 \text{ \AA}$ eine ultraviolette Strahlung nach außen abzugeben, welche die normale Sonnenstrahlung des Untergrundes, der sog. Fotosphäre, um etwa 3 Zehnerpotenzen übertrifft. Von hier aus könnte also vielleicht vorwiegend die Ionisierung der F_2 -Schicht gesteuert werden.

Eine weitere und vermutlich ziemlich gleichmäßige und auch vom Sonnenzyklus weitgehend unabhängige Quelle verstärkter Ultraviolettstrahlung wird man in der sog. Wasserstoff-Konvektionszone der Sonne erblicken müssen. Aus einer oberflächennahen Schicht von einigen hundert Kilometer Mächtigkeit findet in einem turbulenten Vorgang ein ständiges Aufsteigen überhitzten, ionisierten Wasserstoffs (des auf der Sonne bei weitem häufigsten Elementes) statt, der sich in der Höhe wieder neutralisiert und absinkt. Dabei dürfte ebenfalls eine kurzwellige Strahlung in ziemlich konstantem Strom von der ganzen Sonnenscheibe her nach außen abgegeben werden, allerdings vorwiegend in der Form der ultravioletten Wasserstofflinie Lyman α bei $\lambda = 1215,7 \text{ \AA}$. Sie dient dann wahrscheinlich zur Aufrechterhaltung der schwachen Ionisation der ständigen D-Schicht. Einen unmittelbaren Eindruck solcher Konvektionsvorgänge gewinnt man bereits beim Anblick der Sonnenoberfläche im unzerlegten Licht und bei geeignetem Auflösungsvermögen des Fernrohres (um 1") durch ihre eigenartige körnige Struktur, die sog. Sonnengranulation, die in einem Ausschnitt aus einer Sonnenaufnahme unsere Abb. 7 veranschaulicht.

Ganz unklar ist es noch, woher die Sonnenkorona über einer Oberfläche von nur etwa 6000° ihre als gesichert anzunehmende außerordentlich hohe Temperatur von etwa 10^6 Grad erhält. Zwei Deutungsversuche sind in neuerer Zeit bekannt geworden [8]. Nach der einen wird die benötigte Energiezufuhr durch den Einfall meteoritischer Materie aus dem Weltraum und durch ihre Abbremsung im Bereich der Korona geliefert. Die andere stützt sich auf bekannte Gesetze der Turbulenzbewegung in Gasen bei großem Dichtegradienten. Sobald die dabei ständig anwachsenden Geschwindigkeitsgrößen die Schallgeschwindig-

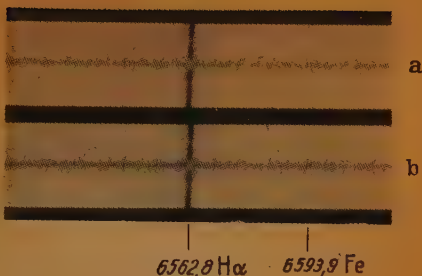


Abb. 9. Bei einer chromosphärischen Eruption leuchten an engbegrenzter Stelle im sonst unveränderten Sonnenspektrum einige wenige Absorptions-Spektrallinien kurzzeitig in Emission auf, z. B. die Linie H_α ($\lambda 6562,8 \text{ \AA}$) des Wasserstoffs. Sie verrät, daß auch die ultraviolette Resonanzlinie L_α ($\lambda 1215,7 \text{ \AA}$) des Wasserstoffs in solchen Augenblicken intensiv in Emission strahlen muß. In dieser Strahlung ist die Ursache verstärkter Ionisation der D-Schicht und damit des Mögel-Dellinger-Effektes zu erblicken. Die beiden Spektren (Positiv) sind Ausschnitte aus dem normalen Sonnenspektrum. In der Spektrennitte stand ein Sonnenfleck auf dem Spektrographenspalt (dunkler horizontaler Streifen), bei dem gerade eine Eruption aufleuchtete: die Mitte der sonst dunklen H_α -Absorptionslinie zeigt an dieser Stelle eine helle Emission (Aufn. v. Klüber)

keit zu übertreffen drohen, muß die nicht mehr transportfähige Energie schließlich als Wärmestrahlung abgestrahlt werden.

Eine zusätzliche Ursache für die in der Sonnenkorona beobachteten extrem hohen Anregungsverhältnisse kann man nach neuesten Anschauungen [6] vielleicht auch in den kräftigen Magnetfeldern erblicken, deren Vorhandensein man mittels des Zeeman-Effektes gewisser Spektrallinien (Abb. 8) in Stärke bis zu mehreren tausend Gauß bei jedem Sonnenfleck leicht nachweisen kann [9]. Die freien Weglängen der Elektronen in der Korona sind nämlich schon so groß, daß sie beim Umlauf um die Kraftlinien eines zeitlich veränderlichen Magnetfeldes ähnlich wie im Rheotron vielleicht mehrere hundert eV aufnehmen können. Die spektroskopisch sicher beobachteten außerordentlich hohen Ionisationszuständen in der Korona von vielen hundert eV gerade über Fleckengebieten könnten damit vielleicht verständlich werden.

(Es mag bei dieser Gelegenheit eingeschaltet werden, daß auch die neuerdings wiederholt beobachtete interessante Ultrakurzwellenstrahlung der Sonne im Wellenlängenbereich von einigen Meter [10] auf ähnliche Weise erklärbar sein könnte. Bei genügend freier Weglänge und bei durchaus plausiblen magnetischen Feldstärken vermögen die im Magnetfelde der Flecke umlaufenden Elektronen wahrscheinlich ganz gut in der ungefähren Lamorfrequenz im Bereich von Meterwellen zu strahlen, wie die Rechnung zeigt [6]. Die Untersuchungen über diese Dinge sind noch im vollen Fluß.)

Auch für die zusätzliche Aufheizung der erwähnten Fackelfelder gibt es eine magneto-kalorische Deutung [6]. Die obere Sonnenatmosphäre ist nämlich,



Abb. 10. Streng monochromatische Aufnahme einer Sonnenfleckengruppe mit dem Spektrohelioskop in der Wasserstofflinie H_{α} (λ 6562,8 Å). Eine chromosphärische Eruption, also ein nur für Minuten anhaltendes helles Aufleuchten von H_{α} -Strahlung ist zwischen den beiden dunklen Flecken in der Bildmitte gerade zu sehen. Im gewöhnlichen, unzerlegten Licht ist dies Phänomen völlig unsichtbar. In der gleichzeitig von einer solchen Eruption nach allen Seiten ausgehenden ultravioletten L_{α} -Strahlung (λ 1215,7 Å) sehen wir die auslösende Ursache für den Mögellinger-Effekt. Eine von einer Eruption außerdem ausgehende gerichtete Partikelstrahlung kann nach etwa eintägiger Laufzeit die Erde erreichen (vgl. Abb. 14) und Polarlichter, erdmagnetische und ionosphärische Störungen (besonders in der F-Nachtschicht) auslösen (Aufn. v. Klüber)

wie wir wissen, ein ziemlich guter elektrischer Leiter. In der Umgebung jedes veränderlichen Magnetfeldes müssen sich somit Induktionsströme ausbilden, deren Joulesche Wärme unter Umständen nach außen in Form von Strahlung wieder abgegeben wird. Die bekannten lokalen Magnetfelder der Sonnenflecke folgen in Stärke und Form sehr gut dem optischen Bilde der Flecke, deren ständige Begleiterscheinung sie sind [9]. Magnetfelder von mehreren tausend Gauß können in wenigen Tagen, ja Tagesbruchteilen, auf- und abgebaut werden, wie die Beobachtungen unzweifelhaft zeigen.

Über die Entstehung dieser lokalen Magnetfelder selber besitzen wir bisher ebenso wenig wie für den tieferen Entstehungsmechanismus der stets wechselnden Sonnenflecke bisher eine genügend tragfähige Theorie. Bei Entdeckung der solaren, lokalen Magnetfelder vor etwa 40 Jahren lag es nahe, die Sonnenflecke als Wirbelgebiete aufzufassen, in denen umlaufende freie Ladungsträger die zugehörigen Magnetfelder erzeugen sollten. Diese Anschauung hat sich nicht bestätigt und quantitativ auch als unmöglich herausgestellt.

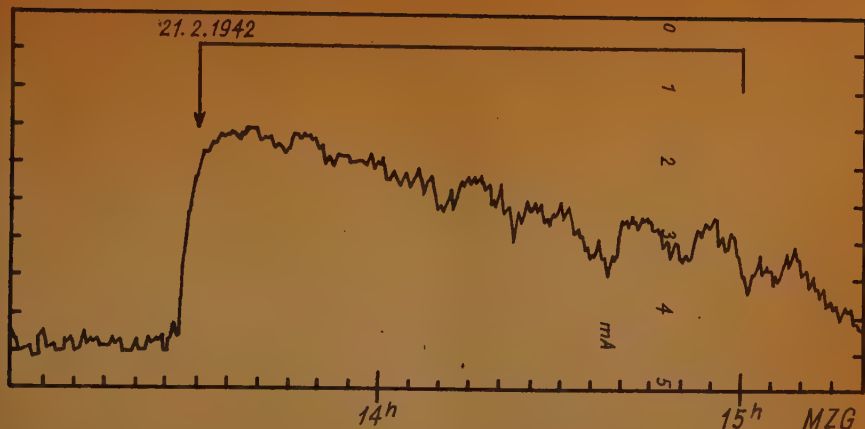


Abb. 11a, b, c. Registrierung der sprunghaften Empfangsverbesserung einer 11000-Meter-Welle beim Aufleuchten einer chromosphärischen Sonneneruption am 21. Februar 1942 offenbar verursacht durch die kurzzeitige, starkgesteigerte Ionisation der D-Schicht (Aufn. Schindelhauer)

Im Kurzwellengebiet setzt gleichzeitig durch Absorptionswirkung (Dämpfung) in der verstärkten Ionisation der D-Schicht vorübergehend der Empfang völlig aus, und die Empfangslautstärke eines gerade beobachteten 48-Meter-Bandes sinkt daher vorübergehend auf Unhörbarkeit

Wir möchten weiter noch auf eine für die Kurzwellenübertragung auf der Erde besonders eindrucksvolle und in ihrer störenden Wirkung schwerwiegende Erscheinung eingehen. Es handelt sich um den durch eine Wellenstrahlung von sog. chromosphärischen Eruptionen auf der Sonne ausgelösten Mögel-Dellinger-Effekt. Astrophysikalisch beobachten wir bei diesem Vorgang an engumgrenzter, kleiner Stelle auf der Sonne, die stets in nächster Umgebung aktiver und veränderlicher Fleckengruppen liegt, das kurzzeitige helle Aufleuchten der roten, für das menschliche Auge noch deutlich sichtbaren Wasserstofflinie H_α bei $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ in Emission. Im normalen, ungestörten Sonnenspektrum ist diese Linie, wie alle Fraunhoferschen Spektrallinien des Sonnenlichtes, nur als Absorptionslinie sichtbar (Abb. 9). Einige wenige andere Spektrallinien treten beim Aufleuchten einer Eruption ebenfalls in Emission auf. Es handelt sich bei dieser ganzen Erscheinung also zunächst nur um einen Ausbruch von Strahlung in einigen wenigen, monochromatischen Wellenlängen, nicht um einen Materieausbruch. Im unzerlegten, gewöhnlichen Sonnenlicht ist diese

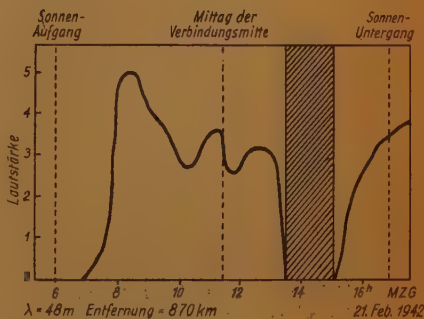


Abb. 11 b

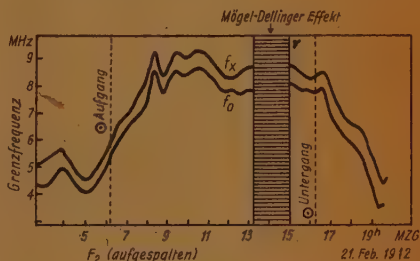


Abb. 11 c

ganze Erscheinung durchaus nicht wahrzunehmen. Sie ist nur mit besonderen spektroskopischen Mitteln nachzuweisen (Spektrohelioskop oder Spektroheliograph) (Abb. 10) und darf nicht mit den normalen und im unzerlegten Lichte sichtbaren Fackeln verwechselt werden, oder mit Protuberanzen, wie dies häufig geschieht. Atomphysikalisch läßt sich nun leicht zeigen, daß mit der Emission der H_{α} -Linie gleichzeitig auch die unsichtbare, ultraviolette Lyman- α -Linie bei $\lambda = 1215,7 \text{ \AA}$ des Wasserstoffatoms außerordentlich verstärkt in Emission strahlen muß. Diese Strahlung pflanzt sich beim Aufleuchten einer Eruption mit Lichtgeschwindigkeit fort, trifft also gleichzeitig mit der optischen Wahrnehmung der Erscheinung bei uns ein und wegen der Laufzeit des Lichtes etwa $8\frac{1}{2}$ Minuten später, als der wirkliche Vorgang auf der Sonne stattfindet.

Durch einen besonderen Absorptionsmechanismus, der mit dem Aufbau und mit der Dichte unserer oberen Atmosphärenschichten zusammenhängt, passiert diese vorübergehend so verstärkt einfallende Strahlung der Wellenlänge $\lambda = 1215,7 \text{ \AA}$ die oberen Ionosphärenschichten ziemlich wirkungslos und ruft erst in der tieferen D-Schicht kräftige Ionisation hervor. Hierbei wirken vermutlich Absorption des Sauerstoffatoms und die in dieser geringen Höhe schon große Stoßzahl von etwa 10^6 — 10^7 pro Sekunde zusammen. Die von unten, vom Sender her einfallenden Kurzwellensignale, welche die für gewöhnlich schwache D-Schicht sonst mühelos passieren, um erst in den oberen E- und F-Schichten reflektiert zu werden, werden jetzt in der plötzlich stark ionisierten D-Schicht beträchtlich absorbiert.

Dadurch kann der Fernempfang auf Kurzwellen vorübergehend — für Minuten bis Viertelstunden — völlig unterbrochen werden (Abb. 11b, c). Man spricht in solchem Falle mit Recht von einem Dämpfungsschwund. Die hohen Stoßzahlen in der D-Schicht, welche schon die Frequenz (ca. 10^6) der einfallenden Kurzwellen erreichen, machen diese starke Absorption sofort verständlich. Es ist übrigens weniger bekannt, daß beim Mögel-Dellinger-Effekt, wahrscheinlich infolge einer Art Spiegelung, für den mittleren Langwellenbereich (um etwa $\lambda = 11000 \text{ m}$) eine wesentliche Empfangsverbesserung einzutreten pflegt (Abb. 11a). Da es sich bei der Ursache des Mögel-Dellinger-Effektes um eine von der Sonne ausgehende, nach allen Seiten sich ausbreitende elektromagnetische Wellenstrahlung nach Art des Lichtes handelt, so muß sich ihre Wirkung auf der ganzen, gerade sonnenbeschienenen Erdhälfte gleichzeitig bemerkbar machen. Demgemäß können gelegentlich sehr eindrucksvolle, schlagartig einsetzende Empfangsstörungen im transkontinentalen Nachrichtenverkehr eintreten, die den gesamten Verkehr im Laufe von kaum einer Minute völlig lahmlegen (Abb. 12). Da Eruptionen nur in der Umgebung von Sonnenfleckengruppen beobachtet werden, so sind Tage, an denen große Fleckengruppen sichtbar sind und die Jahre in der Umgebung eines Fleckenmaximums bevorzugt diesen Kurzstörungen ausgesetzt. Ein solches Fleckenmaximum von bedeutender Höhe dürfte in diesem oder dem kommenden Jahre wieder erreicht werden, wie man aus dem Anstieg der Relativzahlen der letzten Jahre und Monate auf Abb. 13 sofort sieht. Für das Studium dieser Erscheinung sind darum jetzt besonders gute Voraussetzungen vorhanden. Im Kurzwellen-Nachrichtenverkehr werden sich in der nächsten Zeit kräftige Störungen gehäuft bemerkbar machen.

Es gibt für den bei einer chromosphärischen Eruption auf der Sonne ablaufenden Prozeß ebenfalls einen magneto-kalorischen Deutungsversuch [6].

Danach dient die kinetische Energie eines Turbulenzelementes der Sonnenatmosphäre bei Annäherung an das sich als gut abgeschirmt erweisende Magnetfeld eines Sonnenfleckes in sehr kurzer Zeit durch vollständige Abbremsung zum Aufbau von beachtlichen Induktionsströmen. Die bedeutende auftretende Joulesche Wärmeenergie wird zunächst größtenteils zur Ionisation des Wasserstoffs in der umgebenden Sonnenatmosphäre verbraucht. Bei der nachfolgenden Wiedervereinigung wird die dabei entstehende Lyman-Emissions-Strahlung vorwiegend in Resonanzstrahlung von Lyman α ($\lambda = 1215,7 \text{ \AA}$) ausgestrahlt werden, deren Wirkung wir schließlich in der D-Schicht unserer Ionosphäre beobachten. Eine mittlere Eruption von durchschnittlicher Lebensdauer (ca. 10 Minuten) wird an Strahlungsenergie schätzungsweise 10^{29} Erg abstrahlen, also den für irdische Verhältnisse immerhin sehr ansehnlichen Betrag von 10^{16} kWh (= 10 000 Billionen) oder 10^{19} kcal. Dies im Entwicklungsgang einer größeren Fleckengruppe durchaus gewöhnliche und manchmal wiederholt eintretende Ereignis setzt also jedesmal nicht weniger als etwa den zehntausendfachen Betrag des gesamten jährlichen Energiebedarfs ganz Deutschlands (10^{15} kcal) aus der Vorkriegszeit in Strahlung um!

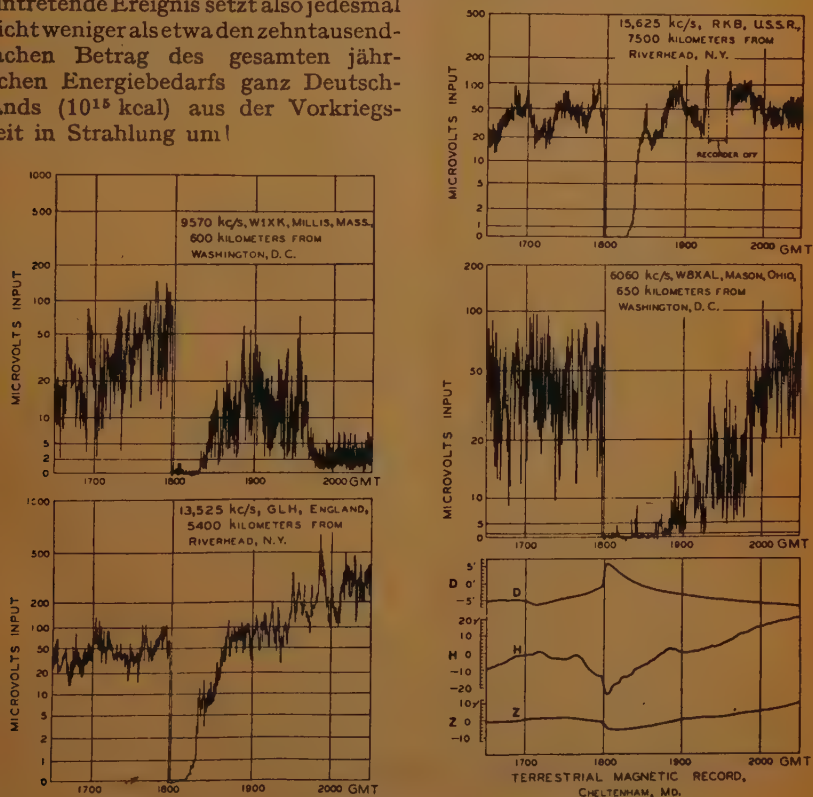


Abb. 12. Beispiel für die schlagartige und weltweit sich auf die ganze gerade sonnenbeschienene Erdoberfläche erstreckende vorübergehende Unterbrechung im Kurzwellenverkehr, ausgelöst durch eine Sonneneruption am 28. Mai 1936 gegen 18 Uhr MZG. Ursache ist der Dämpfungsschwind für Kurzwellen in der durch vorübergehende Zunahme der Ultraviolettstrahlung der Sonne ($L_{\alpha} = 1215,7 \text{ \AA}$) verstärkten Ionisation der D-Schicht. Die kurzzeitige Verbesserung ihrer elektrischen Leitfähigkeit zeigt die erdmagnetische Registrierung im rechten, unteren Bildfeld durch kleine, typische Schwankungen („crochets“) der Feldkomponenten an (nach J. H. Dellinger)

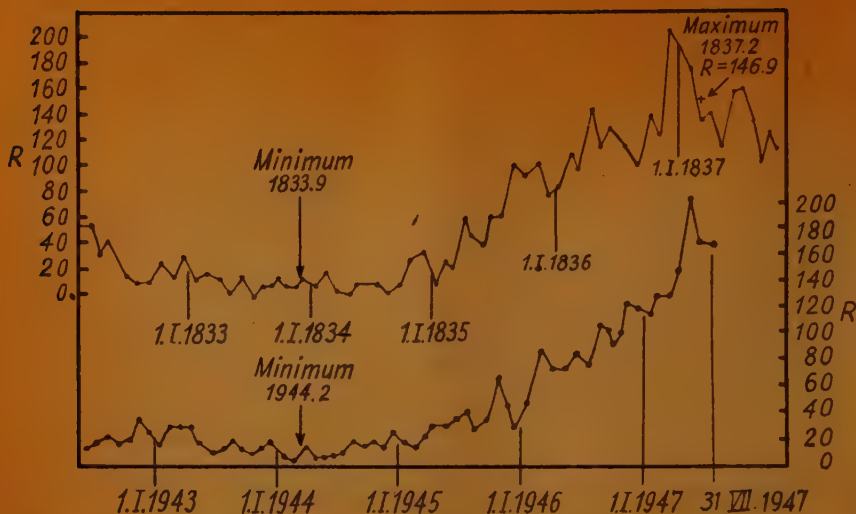


Abb. 13. Verlauf der als ein Maß für die zyklische Sonnenaktivität und damit auch für die Ionisierung der Ionosphäre dienenden beobachteten monatlichen zürcher Sonnenflecken-Relativzahlen R von 1942 über das Minimum von 1944.2 bis zur Gegenwart

Wir befinden uns im Sommer 1947 nach einem ungewöhnlich starken Anstieg in der unmittelbaren Nähe des gegenwärtig zu erwartenden Maximums, das extrem hoch zu werden verspricht. Die Rekordzahl von Mai 1947 wurde seit mehr als 100 Jahren nicht mehr erreicht. Die Werte für R des dem gegenwärtigen sehr ähnlichen Sonnenzyklus von 1833 bis 1837 sind im oberen Teil der Abbildung zum Vergleich aufgetragen

Der vorstehend beschriebene, merkwürdige mehrschichtige Aufbau der Ionosphäre ist im ganzen, wie wir sahen, zu verstehen als ein kompliziertes Zusammenwirken im chemischen und physikalischen Aufbau der hohen Atmosphäre, der für die Fotoionisation maßgeblichen Absorptionskoeffizienten, ihrer Bestandteile und der spektralen Energieverteilung der von der Sonne her einfallenden ultravioletten Wellenstrahlung. Die Einzelheiten dieser Zusammenhänge sind trotz verschiedener Deutungsversuche noch nicht hinreichend geklärt. Ausgedehnte Versuche mit sehr bedeutenden Mitteln zur Erforschung aller ionosphärischer Verhältnisse sind aber zur Zeit u. a. in den großen und aufs beste eingerichteten Versuchsstationen von Almagordo und White Sands in Neu-Mexiko im Gange. Mit modernen Raketen, die ferngesteuerte und komplizierte Untersuchungsgeräte tragen, werden hier Rekordhöhen bis mitten in die Ionosphäre hinein angestrebt (nur einmal ist bisher ein bemannter Stratosphärenballon bis auf etwa 22 km Höhe vorgestoßen) und von dort sind schon bald bedeutende



Abb. 14. Ein von der Sonne ausgehender, ungefähr radial gerichteter Korpuskularstrom wird, vergleichbar dem Strahl eines Gartenschlauches, die Erde bei geometrisch günstigen Verhältnissen vorübergehend treffen können. Ein langlebiges Emissionszentrum M auf der Sonne kann daher nach jeder Sonnenrotation (~ 27 Tage) kurzzeitig seine Wirkung auf die Erde und die Ionosphäre aufs neue geltend machen und damit die sog. Wiederholungstendenz mancher erdmagnetischer und ionosphärischer Vorgänge verursachen

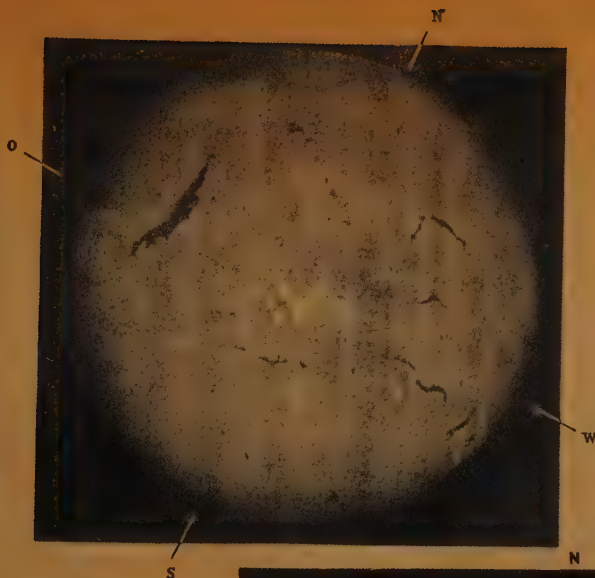
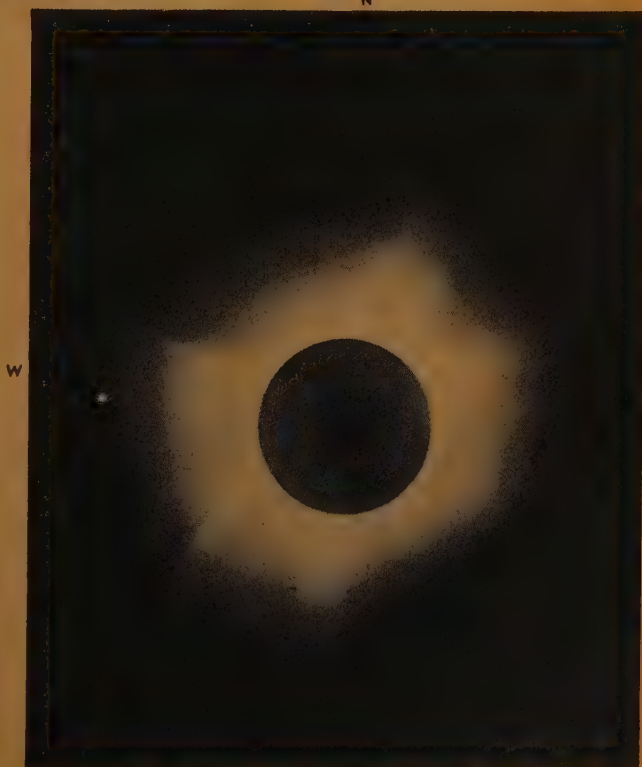


Abb. 15. Streng monochromatische Aufnahme der Sonne im Lichte der Wasserstofflinie H_{α} ($\lambda 6562,8 \text{ \AA}$) (Spektroheliogramm). Die dunklen, schlangengartigen Gebilde, sog. dunkle Filamente, verraten durch Kontrastwirkung Protuberanzen, oft langlebige Gebilde, die am Sonnenrande wie die Beispiele der Abb. 16 aussehen können. In ihnen wird der Sitz einer wahrscheinlich langsamen ($300 \dots 600 \text{ km/sec}$) Korpuskularstrahlung vermutet, die möglicherweise mit den langen Koronastrahlen (Abb. 17) identisch ist und Ursache für erdmagnetische und ionosphärische Korpuskularstörungen sein kann (Aufn. Obs. Meudon)

Abb. 17. Aufnahme der Sonnenkorona gelegentlich der totalen Sonnenfinsternis vom 9. Mai 1929.

Spektraluntersuchungen zeigen, daß die Leuchterscheinung (etwa von der Gesamthelligkeit des Vollmondes) durch Streuung des Sonnenlichtes in einem hochtemperierten Elektronengas (Temp. um 10^6 Grad) hoher Verdünnung (Dichten 10^8 bis 10^9 Elekt./ cm^3) entsteht, wobei zugleich die Emissionslinien einiger sehr hoch angeregter hochionisierten Elemente (Fe, Ni; bis über 600 eV) auftreten. Die jeweilige Form der Korona ändert sich nur langsam im Laufe von Tagen. Ihre Strahlen erstrecken sich möglicherweise als hochverdünnte Partikelstrahlung (10^3 Teilchen/ cm^3 in Erdnähe) bis zur Erde und mögen dort die Ionosphäre beeinflussen. Kurzwellige Strahlung aus der Korona dürfte vorwiegend die Ionisation der E- und F_1 -Schicht der Ionosphäre steuern (Aufn. v. Klüber)



Fortschritte in der Aufhellung aller ionosphärischen Zustandsgrößen zu erwarten. Die ersten Ergebnisse, ein Sonnenspektrum bis 1800 Å, liegen bereits vor.

Zunächst ist also die kurzwellige elektromagnetische Wellenstrahlung der Sonne ganz vorwiegend für den Aufbau, die Aufrechterhaltung und die Veränderungen in den ionosphärischen Schichten und dadurch für die normale Kurzwellenübertragung auf der ganzen Erde verantwortlich. Daneben kennt der Astrophysiker aber auch noch eine von der Sonne ausgehende Korpuskularstrahlung, die ebenfalls auf die Funkübertragung empfindlichen Einfluß gewinnen kann. Wir müssen uns diese Strahlung im ganzen betrachtet als makroskopisch neutral vorstellen. Sie besteht indessen zum Teil aus getrennten Ladungsträgern, vorwiegend Elektronen und positiven Ionen. Von letzteren konnte man neuerdings das Element Calcium, das in solchen hochverdünnten Wolken von der Sonne bis zur Erde gelangt, auch direkt spektroskopisch nachweisen. In der Nähe der Erde wird diese Partikelstrahlung vom irdischen Magnetfeld beeinflusst und vorwiegend zu den magnetischen Erdpolen hin abgelenkt. Ihr Einfall auf die hohen Atmosphärenschichten gibt dann Anlaß zum Auftreten der bekannten Polarlichter. Durch Stoßionisation kann die Partikelstrahlung über den Polkappen der Erde ebenfalls ionosphärische Schichten aufbauen oder bestehende bedeutend verändern und stören. Diese Partikelstrahlung beeinflusst aber vorwiegend das Erdmagnetfeld und vermag nur mittelbar auf diesem Umweg die normalen ionosphärischen Schichten über die ganze Erde hin zu beeinflussen. In Erdnähe wird man die Dichte dieser Partikelstrahlung auf den außerordentlich geringen Betrag von etwa 10^2 Teilchen im cm^3 anzusetzen haben.

Eine seit langem bekannte, schnelle Komponente dieser Korpuskularstrahlung geht wohl unzweifelhaft von den oben erwähnten chromosphärischen Eruptionen aus. Bei kreisähnlichem Querschnitt strömt sie mit einer Geschwindigkeit von etwa 1600 km/sec genähert radial von der Sonne fort und kann, bei zufällig richtiger geometrischer Ausrichtung, dem Strahl eines bewegten Gartenschlauches ähnlich, die Erde treffen (Abb. 14). Das wird aus anschaulichen geometrischen Gründen vorwiegend dann der Fall sein, wenn die Eruption nahe der Mitte der Sonnenscheibe aufleuchtet. Prognostisch darf man dann etwa einen Tag später magnetische Unruhen oder Störungen, in schwereren Fällen Polarlichter und entsprechende ionosphärische und Funkstörungen erwarten. Letzteren werde sich besonders nachts bemerkbar machen, da dann für Fernübertragungen nur die hohe F-Schicht mit ihrer dann normalerweise schon geringen Nachtionisation zur Verfügung steht und die darum auf Störungen besonders anfällig ist. Weitgehende Zerstörung der ganzen F-Schicht und komplizierte diffuse Reflexionen können den Funkübertragungen dann bedeutende Schwierigkeiten bereiten, vorwiegend in den Polkappen der Erde.

Eine zweite solare Partikelstrahlung von etwa 300 bis 600 km Sekundengeschwindigkeit wird möglicherweise von den schmalen, langgestreckten und langlebigen Sonnenprotuberanzen geliefert. Mit spektroskopischen Mitteln (Spektrohelioskop oder -graph) kann man diese als schlangenartige, dunkle Gebilde, als sog. dunkle Filamente, sehr schön auf der Sonnenscheibe selber beobachten (Abb. 15). Wenn sie infolge der Sonnendrehung den Sonnenrand erreichen, erkennt man in ihnen leicht die oft in große Höhen über die Sonnenoberfläche aufsteigenden Protuberanzen. Sie erscheinen nur durch Kontrastwirkung vor der hellen Sonnenscheibe als dunkle Gebilde. In ihrer stets wechselnden Form sind sie aus vielen Bildern wohl allgemein bekannt (Abb. 16,

Seite 60). Infolge ihrer geometrischen Struktur und ihrer gelegentlich über Monate sich erstreckenden Lebensdauer vermag die von ihnen ausgestrahlte Korpuskularstrahlung nach jeder Sonnenumdrehung, also nach je etwa 27 Tagen, von neuem die Erde zu treffen. Die merkwürdige Wiederholungstendenz erdmagnetischer und entsprechend schwächerer ionosphärischer Störungen in 27-tägiger Folge kann dadurch erklärt werden (M-Gebiete der Sonne) und dies wäre dann für Prognosen von Funkstörungen aus Sonnenbeobachtungen und erdmagnetischen Registrierungen wichtig [6]. Sehr wahrscheinlich sind die von diesen Filamenten ausgehenden Korpuskularströmungen identisch mit den komplizierten, bei totalen Sonnenfinsternissen so schön zu beobachtenden und weit in den Raum hinausreichenden Strahlen der Sonnenkorona selber (Abb. 17). Diese erstrecken sich also als quasistationäre Strömungsvorgänge bis zur Erdbahn hin und die Erde wäre nach dieser Vorstellung noch sozusagen im unmittelbaren Kontakt mit der äußeren Sonnenatmosphäre selber.

Im Sinne der vorgeschilderten Anschauungen versteht man auch die außerordentlich enge Korrelation, die erfahrungsgemäß zwischen den üblichen erdmagnetischen Registrierungen und allen Vorgängen und besonders allen Störungen in der Ionosphäre bestehen. Jener, in der Geophysik wohlbekannte Ringstrom, der nach unsern heutigen Anschauungen in großer Höhe die Erde umkreist, wird natürlich bei jeder Veränderung in den leitenden Schichten der Ionosphäre ebenfalls Änderungen unterworfen sein, die ihrerseits sofort im Erdmagnetfeld als Störungen erscheinen, wie die sog. Dynamotheorie des Erdmagnetfeldes sogleich verständlich macht. Die laufenden erdmagnetischen Registrierungen sind darum ein unentbehrliches Hilfsmittel für die Sonnenphysik ebenso wie für die Erforschung der Ausbreitungsverhältnisse im Kurzwellengebiet auf der Erde geworden.

Die geschilderten Zusammenhänge zeigen ohne Zweifel in sehr reizvoller Weise die enge Verknüpfung und gegenseitige Ergänzung verschiedenster Forschungsgebiete, nämlich der Sonnenphysik, der Physik der hohen Atmosphäre, der Ionosphäre, des Erdmagnetismus und der praktisch-technischen Interessen der Kurzwellenausbreitung. Auf allen Gebieten stehen noch wesentliche, ungelöste Aufgaben zur Bearbeitung, deren Lösung auch noch manche der hier vorgetragenen und zur Zeit als zutreffend betrachteten Anschauungen ändern mögen.

Literatur

- [1] B. Beckmann, Die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen. Leipzig 1940
- [2] S. Chapman, J. Bartels; Geomagnetism. 2. Bd. Oxford 1940
- [3] A. Unsöld; Physik der Sternatmosphären. Berlin 1938
- [4] M. Waldmeier; Ergebnisse und Probleme der Sonnenforschung. Leipzig 1941
- [5] H. von Klüber; Über Zusammenhänge zwischen Ionosphäre und Sonnenstrahlung. Unveröff. Manuskript 1946
- [6] K. O. Kiepenheuer; Annales d'Astrophysique 8, 210, 1945; 9, 42, 57, 1946; Zeitschr. f. Astrophysik 20, 332, 1941, u. a. O.
- [7] R. Penndorf, Meteorolog. Zeitschrift 58, 1, 103, 1941
E. Schröer, Zeitschr. f. Meteorologie 1, 110, 1947
- [8] J. Biermann, P. ten Bruggencate, Nachr. d. Akad. d. Wiss. Göttingen 1946
J. Biermann, Naturwiss. 33, 118, 1946
- [9] H. von Klüber, Zeitschr. f. Astrophys. 1947 im Druck
- [10] J. L. Pawsey, R. Payne-Scott, L.-L. McCready, Nature 1946, 101

Ein neuartiger Pegelzeiger

(Mitteilung aus dem Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung)

Wenn eine Meßgröße neben anderer Betätigung zu überwachen ist, ist die Betrachtung eines Zeigerinstrumentes unangebracht. Sie nimmt das Wahrnehmungsvermögen derartig in Anspruch, daß beispielsweise die gleichzeitige Lesung einer Partitur unmöglich ist.

Bei der Beobachtung auf größere Entfernung oder durch einen Nichtfachmann gelten ebenfalls diese Verhältnisse. Zur Überwachung des Pegels der Modulationsspannung des Rundfunks war daher angeregt worden, das bisher verwendete Zeigerinstrument durch die Anzeige des Meßwertes mit Hilfe einer Leuchtskala zu ersetzen, deren Länge zweckmäßig dem Spannungswert in logarithmischem Maßstab entspricht. Bei voller Ausleuchtung wird dann diejenige Spannung angezeigt, die den Sender voll aussteuert. Die Skala wird durch eine Anzahl von Glühlampen ausgeleuchtet, die durch Relais geschaltet werden.

Eine Abschattung der Leuchtskala mittels einer Blende wurde nicht vorgenommen, da diese Einrichtung infolge der Masse des Steuerorgans eine zu große Ansprechträgheit aufweisen und kurze Spitzen nicht zur Anzeige bringen würde. Eine gewisse Unvollkommenheit der gewählten Anordnung liegt in der Hysterese der Relais, die eine Differenz zwischen der jeweiligen Ein- und Ausschaltspannung zur Folge hat; sie liegt jedoch weit unter den bisherigen Fehlergrenzen. Die Zahl der möglichen Lampenstufen ist daher begrenzt. Sie wurden mit 8 Feldern so gewählt, daß deren jede 5 db entspricht.

Die Meßanordnung wurde so getroffen, daß in normaler Schaltung der gegebene Spannungspegel zwischen 15 mV und 1,55 V (0,7 Np) angezeigt wird und bei dem Höchstwert die 8. Lampe aufleuchtet, während jede vorhergehende Lampe bei einem um je 0,575 Np niedrigeren Pegel anspricht. Eine andere Messung gestattet die Überwachung eines jeden dieser Werte übersteigenden Pegels im Intervall von 40 db dadurch, daß mit Hilfe eines einstellbaren Spannungsteilers die Meßgröße dem Bereich des Gerätes angepaßt wird. Diese Messung hat daher subjektiven Charakter und dient beispielsweise zur Überwachung der Besprechung eines Mikrofons. Da sie keine technischen Voraussetzungen stellt, ermöglicht sie auch einem Laien die Kontrolle.

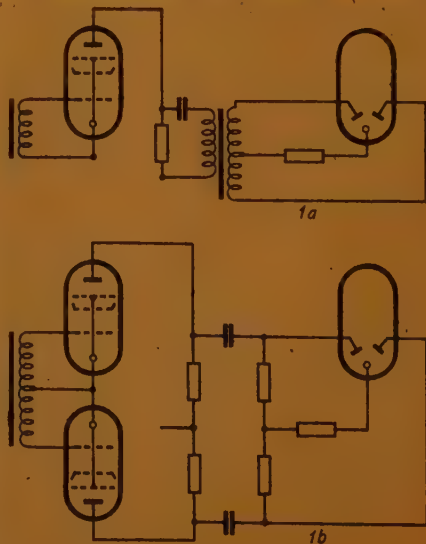


Abb. 1. Gleichrichterspeisung
a) mit Trafokopplung, b) Gegentaktstufe

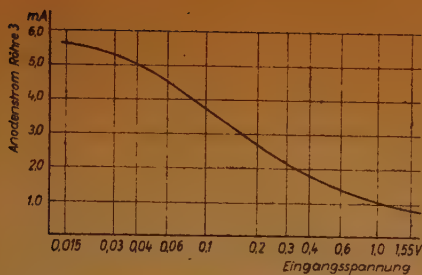


Abb. 2. Steuerstromkennlinie der Relaisanordnung

lichkeit entsprechende Messung und günstige Abstufung der Ansprechwerte zu erzielen.

Bei akustischen Schwingungen tritt gelegentlich eine Ungleichheit der positiven und negativen Spitzenwerte auf, deren Erfassung zur Vermeidung von Übersteuerungen wichtig ist und eine Doppelweggleichrichtung erfordert; sie erfolgt hier mit dem Diodensystem einer Verbundröhre. Es ergeben sich zwei Wege, um zum Ziele zu gelangen, die beide Vor- und Nachteile haben. Nach Abb. 1a wird die Gleichrichterstrecke über einen Transformator Ü 2 an den Anodenkreis der Eingangsröhre — einer Pentode — angekoppelt. Hierbei macht die Aufrechterhaltung des Anodenwiderstandes bei niedrigen Frequenzen Schwierigkeiten, da der Scheinwiderstand des Übertragers leicht so weit sinkt, daß der Anodenkreiswiderstand, der etwa 30—50 kOhm betragen sollte, nicht mehr gehalten werden kann, die Verstärkung absinkt und der Frequenzgang unzulässig beeinträchtigt wird.

Die Anforderungen an den Eingangsübertrager entsprechen denjenigen, die an jeden guten Übertrager gestellt werden. Infolge der im Anodenkreis auftretenden Schwierigkeiten, die durch frequenzabhängige Gegenkopplung bis zu einem gewissen Grade ausgeglichen werden konnten, wurde in einem zweiten Muster die Schaltung nach Abb. 1b gewählt, in der die Verwendung eines Gleichrichtertrafos durch die Röhrengentaktschaltung umgangen ist und jede Röhre eine Gleichrichteranode speist. An den Eingangsübertrager sind wiederum keine außergewöhnlichen Anforderungen zu stellen, und es wurde so ein Frequenzgang erzielt, der nicht mehr als 10% gegenüber dem Höchstwert abwich.

Nachteilig ist bei dieser Anordnung, daß eine gegebenenfalls ungleichmäßige Röhrenalterung eine ungleiche Verstärkung der betreffenden Halbwelle verursacht, und eine gelegentliche Überprüfung des Geräts erforderlich macht.

Die Spitzenwertanzeige wird durch die Dimensionierung des Richtstromkreises bewirkt. Das Abklingen der Anzeige wird durch die Kombination W 20, 21 und C 3 (Abb. 3) festgelegt. Die Zeitdauer wurde auf 0,1 s angesetzt. Hinsichtlich der Ansprechkonstanten ist die Schaltung nach Abb. 1b derjenigen nach 1a benachteiligt, da die Aufladung von C 3 durch den Widerstand W 17 bzw. 37 gegenüber dem geringen ohmschen Widerstand der Sekundärwicklung des Gleichrichterübertragers der Schaltung 1a verzögert wird. Letzterer wäre daher grundsätzlich und bei freier Wahl des Materials der Vorzug zu geben. Die Ansprechzeitkonstante gewährleistet mit 0,03 s die Anzeige kurzzeitiger Vorgänge.

Eine lineare Änderung des Anodenstromes bei logarithmischem Wachsen der Gitterspannung erreicht man durch Verwendung einer Regelröhre. Es ist der Anodenstrom der Regelröhre $I_a \sim e^x$ und die unabhängige Veränderliche $x = \ln U$, wobei U die Eingangsspannung darstellt. Es folgt $\ln I_a \sim x$ oder $\ln I_a \sim \ln U$ und $I_a \sim U$, d. h. im logarithmischen System sind Anodenstrom und Eingangsspannung proportional, wodurch eine günstige Stufenteilung des Meßbereichs ermöglicht wird. Die im Ergebnis festzustellende Abweichung am Anfang und Ende der Regelkurve (Abb. 2.) entsteht aus der nichtlinearen Gleichrichtung der kleinen Spannungen und aus Abweichungen von der Exponentialkennlinie. Um den Meßbereich ohne Übersteuerung erweitern zu können, wurde ein Teilbetrag der Richtspannung auf das Gitter der Vorverstärkerröhre zurückgeführt und so das Anodenspannungsintervall gegenüber der Eingangsspannung verkleinert. Die Geräteschaltung nach diesen Gesichtspunkten zeigt Abb. 3.)* Aus Gründen der Einheitlichkeit wurde in allen Stufen die Regelröhre EBF 11 verwendet.

Mittels des Schalters S_1 wird die Eingangsspannung entweder direkt oder über ein Potentiometer an den Eingangsübertrager $\bar{U}1$ gegeben, wobei zuvor durch den Schalter S_2 ein Umpolen oder Kurzschließen des Eingangs bewirkt werden kann. Auf der Sekundärseite werden die Pentoden $Rö1$ und $Rö2$ in Gegentaktschaltung erregt. Die ausgenutzte Verstärkung liegt zwischen 15- und 60-fach (22...0,9 V). Die in der Röhre 3 gewonnene Richtspannung wird an das Pentodensystem der gleichen Röhre, in deren Anodenkreis die Relais liegen, gegeben. Der Teilbetrag, mit dem diese Röhre gesteuert wird, ist mit dem Potentiometer $W20$ einstellbar. Die Staffelung der Empfindlichkeit der Relais wird durch Nebenwiderstände zur Zweitwicklung erreicht. Die Parallelschaltung der Arbeitswicklung in zwei Gruppen bezweckt die Herabsetzung des Spannungsabfalls zur Vermeidung von Sättigungserscheinungen im Röhrenstromkreis.

*) S. a. FUNK-TECHNIK Heft 2, 1947, „Ein neuer Glühlampen-Aussteuerungsanzeiger“.

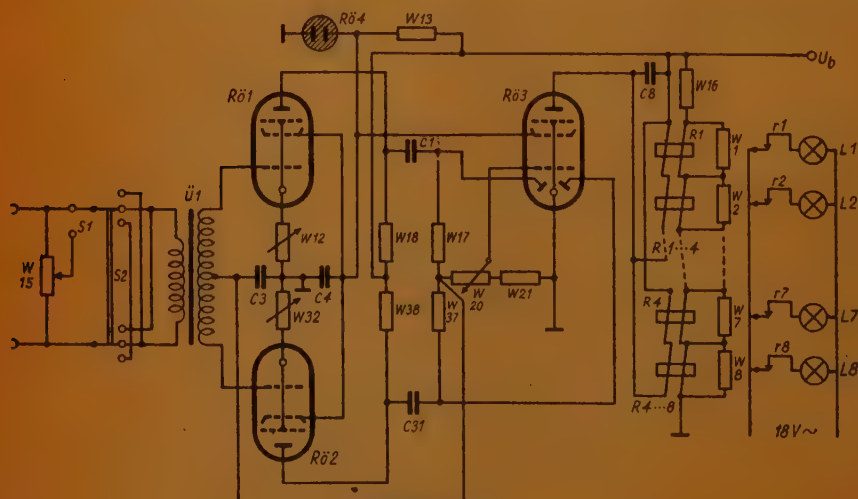


Abb. 3. Gesamtschaltbild des Pegelzeigers

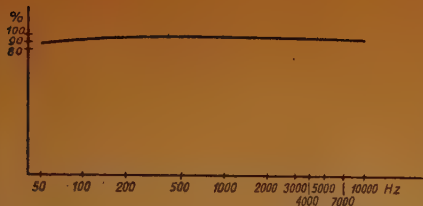


Abb. 4. Meßwerte in einem Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 10 kHz

Das in Abb. 2 dargestellte Ergebnis zeigt den Anodenstrom über der zugeführten Wechselspannung. Die Steilheit der Kurve beträgt am Anfang und Ende 0,7 mA/Np. Die verwendeten Relais weisen eine Umschlagstromdifferenz von 0,025 mA auf. Schlägt man hierzu Anodenstromschwankungen von 0,05 mA, herrührend aus Netzspannungsschwankungen, die durch Stabilisation der Schirmgitterspannung

in ihrem Einfluß herabgemindert sind, so ergibt sich eine Ungenauigkeit der Anzeige zwischen 0,05 und 0,1 Np.

Der erreichte Frequenzgang weist folgende Abweichungen der Meßgröße gegenüber dem Höchstwert auf:

6%	bei einer Eingangsspannung von 0,04 V (— 2,96 Np)
9%	„ „ „ „ 0,2 V (— 1,35 Np)
10%	„ „ „ „ 1,5 V (+ 0,7 Np)

Diese Werte ergeben sich in einem Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 10 kHz und sind in Abb. 4 dargestellt.

Zusammenfassung

Es wurde ein Gerät entwickelt, das gleichzeitig mit einer anderen Tätigkeit die Überwachung eines Spannungspegels zwischen + 0,7 und — 3,9 Np ohne Beobachtung eines Zeigerinstrumentes ermöglicht. Durch eine Umschaltung kann jeder andere höhere Pegel kontrolliert werden. Die Anzeigegenauigkeit liegt über den bisher üblichen Anforderungen und überschreitet sie bei konstanter Netzspannung erheblich. Der Frequenzgang ist praktisch geradlinig und weist Abweichungen unter 0,1 Np auf. Aus den zeitbedingten Gründen der Materialbeschaffung konnte nicht in allem das Höchstmögliche erreicht werden.

Es erscheint möglich, den Meßbereich des Gerätes unter normalen Verhältnissen von 40 auf 60 db zu erweitern, um so den Registrierbereich des Magnetofons voll erfassen zu können. Die Auswirkungen etwaiger Alterungserscheinungen können sich erst nach längerer Betriebszeit ergeben. Bei den laufenden Betriebsmessungen während der Erprobungen im Berliner Rundfunk wurden keine Abweichungen der Ansprechwerte festgestellt.

Die Anwendung des Geräts bleibt nicht dem Rundfunk zur Überwachung der Senderaussteuerung vorbehalten, sondern erstreckt sich allgemein auf das Gebiet der Überwachung tonfrequenter Amplituden, wie es auch beispielsweise einen Teil der Tonfilmtechnik ausmacht.

* * *

Zweikanal mit Frequenz- und Amplitudenmodulation*)

Einleitung

Es gibt verschiedene Aufgaben der Nachrichtenübermittlung, bei denen die Möglichkeit der gleichzeitigen Bereitstellung zweier Übertragungskanäle im selben Übertragungssystem erwünscht ist. Als Beispiele hierfür lassen sich nennen:

1. die Übertragung eines gesonderten Steuersignales zur Dynamikregulierung einer Musikübertragung,
2. Stereophonische Zweikanalsysteme,
3. Start- und Endsignale für die Aufzeichnung der Nachricht auf Schallträgern, die neben der Nachricht durch das gleiche Übertragungssystem übermittelt werden sollen (besonders für Tonfilmaufnahmen),
4. Zwei vollkommen voneinander unabhängige Nachrichten.
5. Getrennte Übermittlung von Synchronisierung und Bildinhalt beim Fernsehen (bzw. getrennte Übermittlung von Bild und Ton)

Alle diese Aufgaben lassen sich prinzipiell dadurch lösen, daß die beiden zu übertragenden Signale einmal durch Amplitudenmodulation und zum anderen durch Frequenzmodulation des gleichen Senders übertragen werden.

Zweck der im folgenden beschriebenen Untersuchung soll sein, praktische Erfahrungen mit Übertragungskanälen dieser Art zu gewinnen.

Gleichzeitig wird über einige weitere Anwendungsmöglichkeiten berichtet, so kann z. B. auch am Empfänger die Frequenz, auf die gerade abgestimmt ist, periodisch durch eine FM-Einrichtung verändert werden, so daß ein durch gewöhnliche AM-Empfänger unhörbarer Übertragungskanal entsteht.

I. Allgemeine Grundlagen

Die Aufgabe der Übertragung eines Amplitudenmodulierten Signales durch einen Sender mit veränderlicher Trägerfrequenz und einen synchron verstimmten Empfänger, wie sie ursprünglich von R. Goldammer**) gestellt wurde, führt in allgemeiner Betrachtung zu dem Problem der gleichzeitigen Amplituden- und Frequenzmodulation des gleichen Senders mit zwei verschiedenen Signalen.

Die vorliegende Arbeit beschreibt eine Vorrichtung, die die hierbei auftretenden Fragen zu studieren und meßtechnisch zu verfolgen gestattet.

Die grundsätzliche Anforderung, die an einen Übertragungskanal für gleichzeitige AM-FM-Übertragung zu stellen ist, läßt sich leicht an zwei Figuren, wie sie in Abb. 1 dargestellt sind, erläutern.

Abb. 1a zeigt die Durchlaßkurve eines Kanales, wie sie benötigt wird, um ein amplitudenmoduliertes Signal mit einem Träger zu übertragen, der gleichzeitig frequenzmoduliert ist. Wesentlich ist, daß innerhalb der Hubgröße das Dämpfungsmaß des Übertragungskanales sich nicht oder nur in sehr kleinen

*) Untersuchung aus dem Laboratorium des Verfassers bei der Forschungsges. für Funk- und Tonfilmtechnik, Greiz i. Thür., in den Jahren 1944/45.

**) Mündliche Mitteilung.

Beträgen ändert. Offenbar ist es bei Erfüllung dieser Forderung für die Übertragung des AM-Signales gleichgültig, an welcher Stelle des Durchlaßbandes die jeweils vorhandene Augenblicksfrequenz liegt, mithin also keinerlei Einfluß der FM auf die AM-Übertragung vorhanden ist. Die Bedingung, die erfüllt werden muß, lautet also

$$a = f(\omega) = \text{konst. im Bereich } \Delta\omega \quad (1)$$

Wenn $f(\omega) \neq \text{konst.}$, tritt beim Vorhandensein von Frequenzmodulation eine zusätzliche Amplitudenmodulation mit der Amplitude $\Delta\omega f(\omega)$ auf. In der verwendeten Formel bedeutet a das Dämpfungsmaß, ω die Frequenz und $\Delta\omega$ den Frequenzhub.

Die umgekehrte Aufgabe, eine Frequenzmodulationsübertragung so zu gestalten, daß sie von einer auf dem Träger liegenden AM unabhängig wird, wird in einfacher Weise durch das Einschalten der ohnehin im FM-Empfänger

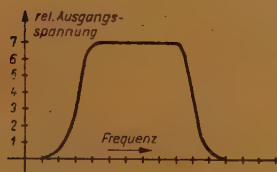


Abb. 1a. Durchlaßkurve eines Kanals auf einem Träger mit einem AM- und FM-Signal

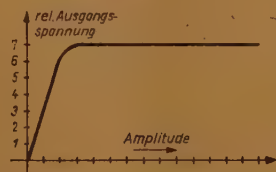


Abb. 1b. Kennlinie einer Begrenzerstufe mit der Bedingung des völligen Verschwindens des AM- aus dem FM-Signal

vorhandenen Begrenzerstufe erreicht. Die Kennlinie einer derartigen Begrenzerstufe ist in Abb. 1b dargestellt. Für das völlige Verschwinden der AM aus dem FM-Signal ist die Bedingung

$$U_{\text{Ausg.}} = f(A) = \text{konst.} \quad (2)$$

zu erfüllen. Die Wirkungsweise der Begrenzerstufen

ist in der Literatur über FM-Empfänger beschrieben [1]. Die Störung der FM-Übertragung durch die Amplitudenmodulation ist in ihrer Amplitude gegeben durch die Beziehung

$$U_{\text{AM}} = A f(A) \cdot \Delta\omega \cdot S$$

Hierin bedeuten A die Größe der ursprünglichen Modulationsamplitude, $f(A)$ die Funktion der Begrenzerstufe (die im Idealfall $f(A) = \text{konst.}$ sein soll), $\Delta\omega$ den Hub der FM-Übertragung und S die Steilheit der Umformerstufe des FM-Empfängers (d. h. also die Funktion der Ausgangsspannung von der Größe des Hubes).

Bei der Erfüllung der beiden aufgeführten Bedingungen (1) und (2) muß sich also eine gleichzeitige Übertragung mittels AM und FM ermöglichen lassen.

II. Die verschiedenen Ausführungsmöglichkeiten des Übertragungskanales

In der vorstehenden Betrachtung wurde zunächst die Forderung (1) nach einer Konstanz des Dämpfungsmaßes innerhalb der Hubbreite aufgestellt, ohne daß im einzelnen eine Festlegung darüber gemacht wurde, wie die Konstanz über den Hubbereich erzielt werden soll.

Es gibt hier zwei grundsätzlich gangbare Wege: erstens kann im Sender und Empfänger die Bandbreite größer als der vorhandene FM-Hub gemacht werden, wobei die Bedingung (1) zu erfüllen ist, zweitens kann dem Sender und Empfänger gleichzeitig das gleiche FM-Signal aufgedrückt werden, d. h. also auch der Empfänger verändert seine Resonanzfrequenz gemäß dem NF-Signal. In diesem Falle kann die Empfängerbandbreite beliebig klein gemacht werden, wenn nur dafür Sorge getragen wird, daß ein strenger Synchronismus zwischen

der Frequenzverwerfung im Sender und Empfänger vorhanden ist. Die Bedingung (1) wird dann dadurch erfüllt, daß die Empfindlichkeit des Empfängers bei seiner Verstimmung im Bereich von der Breite $\Delta\omega$ konstant zu halten ist.

Die im Weg 2 angegebene Lösung ist von besonderer Bedeutung, weil hiermit ein Übertragungskanal geschaffen werden kann, der mit bisher üblichen Mitteln nicht abhörbar ist. Der amplitudenmodulierte Sender, dessen Träger gleichzeitig frequenzmoduliert ist, stellt also wie bereits eingangs erwähnt, einen guten verschlüsselten Übertragungskanal dar.

III. Beschreibung der Vorrichtung

Die für die Messung der auftretenden Größen benötigte Vorrichtung ist im Schaltbild Abb. 2 dargestellt. Sie besteht aus dem Sender und je einem Empfänger für das amplitudenmodulierte und das frequenzmodulierte Signal. Der FM-Empfänger ist nach der üblichen in der Literatur [1] oft beschriebenen Weise geschaltet, so daß sich die genaue Darstellung seines Schaltbildes erübrigt. Sender und AM-Empfänger, die von den bekannten Verfahren abweichen, sind jedoch etwas ausführlicher dargestellt.

In der Steuerstufe des Senders sowohl als auch in der Oszillatorstufe des Empfängers sind magnetische Frequenzmodulatoren [2] eingebaut, die eine

Frequenzmodulation des Senders und Empfänger-oszillators gestatten.

Die magnetische Frequenzverwerfung für das Senderjoch ist der Tabelle I zu entnehmen. Um die oben erwähnte Bedingung (1) zu erfüllen, mußten Senderverstärkerstufe und Endstufe mit Bandfiltern gekoppelt werden, um die nötige Durchlaßbreite zu erzielen. Die Filter sowohl zwischen Vor- und Endstufe als auch zwischen Endstufe und Antenne wurden so ausgelegt, daß ein Bereich von 300 kHz Breite er-

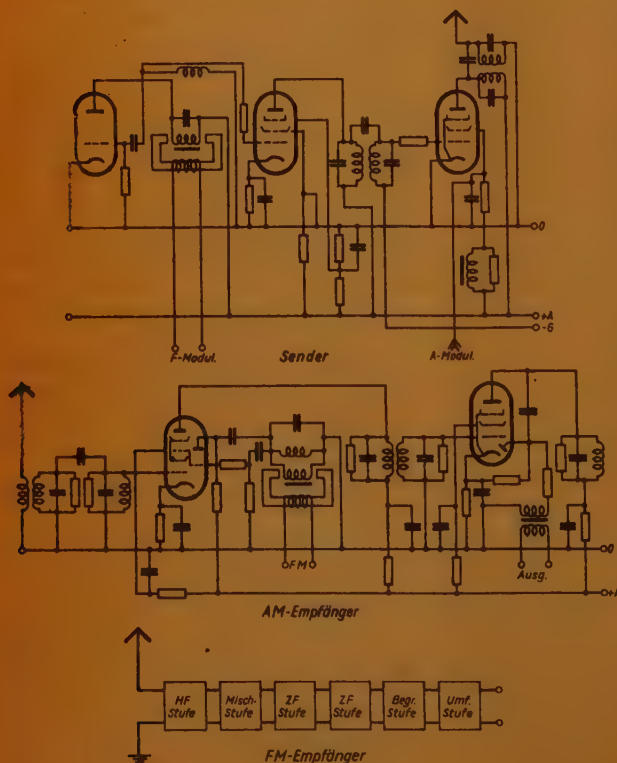


Abb. 2. Schaltbild der Meßeinrichtung. Sie besteht aus einem Sender und je einem Empfänger für das amplituden- und frequenzmodulierte Signal

Tabelle I

Strom mA	Frequenz	Amplitude	Ampere- Windungen
0	3,785	0	0
50	3,815	0	28,6
100	3,855	0	57,2
150	3,91	0	85,8
200	4,005	0	114,4
250	4,11	0,15	143,0
260	4,135	0,34	149,0
280	4,195	1,45	160,0
300	4,225	4,6	172,0
320	4,280	7,8	183,0
340	4,320	8,0	195,0
360	4,37	7,95	206,0
380	4,40	8,0	217,0
400	4,44	8,0	229,0
420	4,495	8,2	240,5
440	4,52	8,2	252,0
460	4,575	8,2	263,5
480	4,605	8,1	275,0
500	4,64	7,9	286,5
520	4,68	7,0	298,0
540	4,71	5,0	309,5
560	4,75	3,25	321,0
580	4,795	1,4	332,5
600	4,82	0,68	344,0
620	4,855	0,40	355,5
640	4,885	0,20	367,0
660	4,92	0	378,5

zielt wurde, in dem die Amplitude um weniger als $\pm 1,5\%$ schwankt. In der Tabelle I ist die zu den magnetischen Vorspannungen des Joches gehörige Ausgangsamplitude gleichfalls eingetragen. Abb. 3 zeigt eine diagrammatische Darstellung beider zugehöriger Kurven über der magnetischen Durchflutung des Joches als Abszisse. Zur besseren Übersicht ist in Abb. 4 die Ausgangsamplitude des Senders noch einmal über der Frequenz aufgetragen.

Wie aus der Kurve hervorgeht, darf der Sender in seiner Frequenz um ± 200 kHz schwanken, ohne daß seine Amplitude mehr als $\pm 1,5\%$ schwankt. Damit ist die Bedingung (1) in ausreichendem Maße erfüllt.

Wie schon oben kurz angedeutet, kann die Erfüllung der Bedingung (1) für den Empfänger entweder dadurch erfüllt werden, daß er eine Dämpfungskurve von derselben Frequenzbreite erhält wie der Sender, oder der Empfänger kann in seiner Empfangsfrequenz synchron mit dem Sender frequenzmoduliert werden.

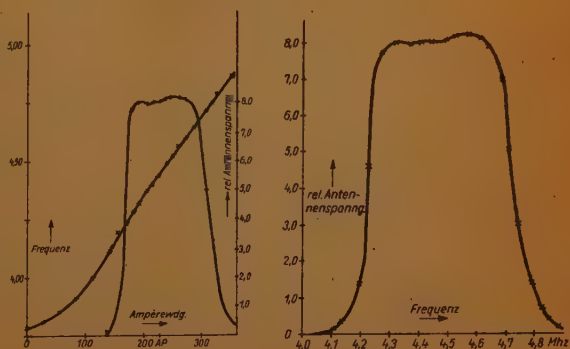
Der letztere Weg ist bei der vorliegenden Versuchsanordnung gewählt

worden. Für den Aufbau eines hierzu verwendbaren Empfängers ist durch die Anwendung des Transponierungsprinzipes in einfachster Weise eine Empfangsfrequenzmodulation durch die Frequenzmodulation des Empfänger-oszillators möglich.

Bei einer verhältnismäßig schmalen Bandbreite des Zwischenfrequenzfilters des Empfängers wird dann ein Band bestrichen, das der Verwerfung des Oszillators entspricht. Es ist also für das ZF-Bandfilter nur der für die Signalbandbreite benötigte Durchlaß vorzusehen, so daß die wirkliche Empfangsbreite immer nur dieser Bandbreite entspricht.

Abb. 3 (links). Verwerfungskurve (Sender) und Amplitudenkurve (Sender) des frequenz-gewobbelten Übertragungskanal

Abb. 4 (rechts). Sender-Amplitude als Funktion der Frequenz



Allerdings ist bei einer derartig engen Bemessung der Filterkurven die Forderung nach dem einwandfreien Gleichlauf zwischen Sender und Empfänger außerordentlich streng.

Bei der beschriebenen Versuchsanordnung ist als Übertragungsfrequenz 4,45 MHz gewählt worden, für die Zwischenfrequenz von 468 kHz muß der Empfängeroszillator auf 3,982 MHz oder der anderen Spiegelfrequenz arbeiten. Werden beide Frequenzen verworfen, was, wie aus Abb. 2 hervorgeht, auch im Empfänger mit einem magnetischen Frequenzmodulator geschieht, so muß die Differenz beider mit möglichster Genauigkeit den Betrag von 468 kHz beibehalten. In Abb. 5 ist die Verwerfungskurve des Senders eingetragen, dazu im gleichen Kurvenbild die Verwerfungskurve des Empfangsoszillators. Ferner wurde diese letzte Kurve um den Betrag von 465 kHz gehoben eingezeichnet, um direkt nach Augenschein den Gleichlauf beurteilen zu können. In der Umgebung des Arbeitspunktes von 4,45 MHz ist die Deckung beider Kurven offensichtlich. Bei Verwendung der neuerdings hergestellten Joche ist eine ausgezeichnete Deckung in weiten Gebieten erreichbar. Die Änderung der Differenzfrequenz bei größeren Abweichungen ist im Kurvenbild gleichfalls eingetragen.

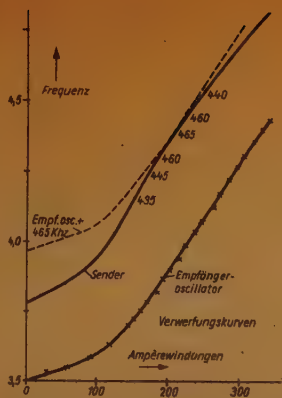
Es ist zu erkennen, daß bei Hüben von mehr als ± 150 kHz die Differenzfrequenz sich bereits stärker als 20 kHz ändert, d. h. also bei einem schmalen ZF-Bandfilter von 10 kHz Breite würde das Signal bereits nicht mehr empfangen werden. Wegen dieser noch vorhandenen Gleichlaufabweichungen wurde daher zunächst mit einer vergrößerten ZF-Bandbreite gearbeitet. Die Abweichungen der Differenzfrequenz von der Sollfrequenz sind in Abb. 6 noch mal gesondert dargestellt, und zwar sind einmal die aus Abb. 5 entnommenen Differenzen eingetragen und zum anderen die Differenzmessungen der Tabelle 2, die mittels Mischröhre und Meßsender gewonnen sind. Die Abweichungen beider Messungen

Tabelle II

Strom mA	Differenz- frequenz	Ampere- Windungen
280	440	160
300	453	172
350	465	200
400	465	229
450	461	269
500	438	287

Tabelle III

25 Hz		50 Hz		100 Hz		200 Hz	
Spannung an den Jochen in V	Hub in kHz	Spannung an den Jochen in V	Hub in kHz	Spannung an den Jochen in V	Hub in kHz	Spannung an den Jochen in V	Hub in kHz
0	0	0	0	0	0	0	0
1,0	90	1,0	50	1,0	25	2,0	25
2,0	180	2,0	100	2,0	50	4,0	50
3,0	270	3,0	150	3,0	75	6,0	75
4,0	360	4,0	200	4,0	100	8,0	100
		5,0	250	5,0	125	10,0	125
		6,0	300	6,0	150	12,0	150
				7,0	175	14,0	175
				8,0	200	15,0	187
				9,0	225		
				10,0	250		
				12,0	300		
				14,0	350		



voneinander sind Ablesungenauigkeiten. Gleichzeitig sind in Abb. 6 die Durchlaßgrenzen des ZF-Bandfilters eingezeichnet, dessen Durchlaßkurve in

Abb. 5 (links).
Verwerfungskurve
des Senders
und des Empfangs-
Oszillators

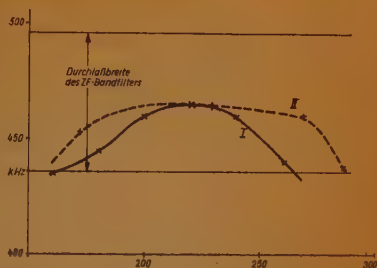


Abb. 6 (rechts).
Die Abweichungen
der Differenz-Fre-
quenz oder Soll-
Frequenz

Abb. 7 dargestellt ist. Es ist zu erkennen, daß in unserer Versuchsanordnung die Bandbreite des ZF-Filters so gewählt wurde, daß ein Herauslaufen aus dem Empfangsbereich auch bei Hüten von ± 150 kHz nicht erfolgt (Abb. 6).

Die Gesamtempfindlichkeitskurve des Empfängers ist für eine Vormagnetisierung von 172 AW in Abb. 8 dargestellt.

Die mit der Versuchsanordnung durchzuführenden Aufgaben bestanden zunächst darin, ein amplitudenmoduliertes Signal über den Kanal zu übertragen, wobei gleichzeitig auf dem Sender und Empfänger-oscillator mit einer niedrigen Frequenz eine synchrone Frequenzmodulation vorgenommen wurde. Die Synchronisierung zwischen Sender und Empfänger wurde in diesem Versuchsaufbau zunächst in einfachster Weise durch Serienschaltung der Magnetjochspule und Speisung aus derselben Wechselstromquelle erreicht. Um ein Maß für den erzielten Hub zu haben, wurde die Wechselspannung über beiden Spulen gemessen. Tabelle 3 zeigt den Zusammenhang.

Durch den synchronen und conphasen Lauf der Sende- und Empfangs-FM ist es nun möglich, aus dem Kanal das AM-Signal wieder frei von der FM-Frequenz zu entnehmen. Umgekehrt kann mittels des FM-Empfängers das den Jochen aufgedrückte FM-Signal empfangen werden, ohne daß es von der AM des Senders beeinflusst wird.

Aufgabe der vorliegenden Untersuchung ist nun, festzustellen, wie weit bei der immerhin schwierigen Problemstellung die Erzielung einer gegenseitigen Störfreiheit von AM und FM möglich ist.

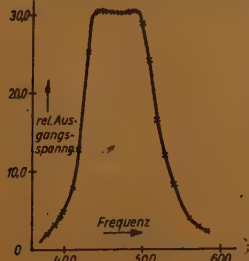


Abb. 7. Durchlaßkurve des
ZF-Bandfilters im Empfänger

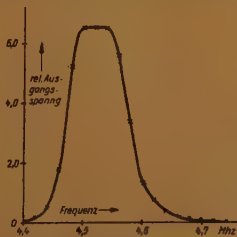


Abb. 8. Empfindlichkeits-
kurve des Empfängers für
 $I_{\text{magn.}} = 300 \text{ mA}$

Durch die Anwendung der Besonderheit der Empfängerfrequenzverwerfung mittels der aufgedruckten niederfrequenten FM hat der Übertragungskanal die besonders bemerkenswerte und auch gewünschte Eigenschaft, daß das auf ihm liegende AM-Signal mit normalen Empfängern

nicht abhörbar ist, sondern in diesen nur die FM-Frequenz als Rechteckimpulse hörbar wird, da bei dem großen Hub jeweils ein schnelles Durchlaufen der Hochfrequenz durch das schmale Band des Normalempfängers eintritt. Umgekehrt ist die Anfälligkeit des niederfrequent gewobbelten AM-Übertragungskanales gegen Störer geringer als das im normalen Verkehr, da ja die Störleistung sich hierbei auf ein viel breiteres Band verteilen muß.

Der Sender des in Abb. 2 schematisch dargestellten Versuchsaufbaus hat eine Ausgangsleistung von etwa 5 Watt, er ist für die Erzeugung der Amplitudenmodulation in der Endstufe schirmgittermoduliert. Aus Gründen der Bequemlichkeit ist der Modulationsverstärker mit in das gleiche Gerät eingebaut und so bemessen, daß Tonabnehmer- und Mikrofonspannungen aus-

Tabelle IV

Spannung am Mod. Verstärker	Modulationsgrad
1 mV	6,5 %
2 mV	13 %
3 mV	19 %
4 mV	25,5 %
5 mV	32 %
6 mV	38 %
7 mV	45 %
8 mV	51 %
10 mV	64 %
12 mV	77 %

Tabelle V

Frequenz	Modulationsgrad
100 Hz	77
200 Hz	69
400 Hz	58
800 Hz	53
1600 Hz	53
3200 Hz	53
5600 Hz	53
10 000 Hz	77
15 000 Hz	77

reichen, um den Sender durchzumodulieren. Tabelle 4 und 5 zeigen die Abhängigkeit des Modulationsgrades von der Eingangsspannung, die in Abb. 9 graphisch dargestellt ist; die Messung wurde mit 1000 Hz durchgeführt. Gleichfalls in Abb. 9 ist der Frequenzgang der AM senderseitig eingetragen. Der Anhub in den Grenzgebieten ist absichtlich durch die Bemessung des Modulationsverstärkers erzeugt. Die übrigen Senderdaten sind aus den bereits oben erwähnten Tabellen und Kurven ersichtlich.

Der Empfänger ist so aufgebaut, daß durch die Verwerfung innerhalb des Arbeitsgebietes die Oszillatorspannung und damit die Konversionssteilheit nur innerhalb sehr enger Grenzen sich ändert. Die Bandfilterkurven des Empfängers sind bereits in Abb. 9 und 8 gezeigt. Die Empfindlichkeit des Empfängers über den Arbeitsbereich zeigt Tabelle 6. Es ist hier diejenige Eingangsspannung eingetragen, die nötig ist, um am Empfängeranfang eine Spannung von 0,015 V

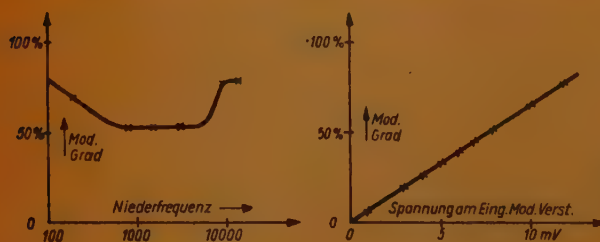


Abb. 9
Graphische Darstellung der Eingangsspannung bei 1000 Hz (Kurve links) und der Frequenzgang der AM senderseitig (Kurve rechts)

und 400 Hz zu erzeugen, wenn die Eingangsspannung mit den genannten 400 Hz mit 60% moduliert ist und die HF jeweils auf die Mitte des Bandes eingestellt wird.

Der niederfrequente Frequenzgang des Empfängers wurde am Siemens-Pegelschreibgestell aufgeschrieben, wobei das NF-Band dem Philips-Meßsender PHP 22 aufmoduliert wurde. Die Konstanz des Modulationsgrades über den Frequenzbereich von 30...10000 Hz wurde geprüft. Der bei einer Übertragungsfrequenz von 4,40 MHz gemessene NF-Frequenzgang des gesamten aus Meßsender und Empfänger bestehenden Vierpoles ist in Abb. 10 gezeigt.

Der Frequenzgang der Apparatur bestehend aus Sender und Empfänger ist in Abb. 11 Kurve II aufgeschrieben.

Tabelle VI

Verwerfungsstrom	mittl. Frequenz	Eingangsspannung
100 mA	3,98	0,049
150 mA	4,01	0,049
200 mA	4,07	0,045
300 mA	4,235	0,0335
350 mA	4,31	0,30
400 mA	4,42	0,026
450 mA	4,52	0,026
500 mA	4,65	0,032

Für eine Ausgangsspannung für 0,015 V bei einem Modulationsgrad von 60%

gegeben besonders durch den Netzgleichrichter des Senders, betrug 1,2 V. Die anschließende Tabelle 7 gibt für Wobelfrequenzen von 70 Hz und 100 Hz eine Übersicht darüber, was unter der übertragenen Frequenz von 400 Hz als störender Brumm durch die FM auftritt. In der letzten Spalte der Tabelle ist das Verhältnis von Stör- zu Nutzspannung angegeben, das für die jeweiligen Anwendungen des Übertragungskanales abzuschätzen gestattet, ob die Störung die zulässige Grenze überschreitet. Es ist ersichtlich, daß bei Hübner bis 100 kHz die Störung verschwindend klein bleibt.

IV. Meßresultate

Die eigentlichen Messungen an der Apparatur hatten, wie bereits gesagt, den Zweck, die Störung des AM-Kanales durch die FM-Wobbelung zu ermitteln und umgekehrt festzustellen, inwieweit die FM-Übertragung durch eine Amplitudenmodulation des Senders beeinflusst wird.

Es wurde mit einem Modulationsgrad von 35% eine Frequenz von 400 Hz übertragen, wobei am Ausgang des Meßverstärkers eine relativ zu bewertende Spannung von 37 V auftrat.

Der Restbrumm der Apparatur, ge-

Tabelle VII

Spannung an den Spulen		Hub	Brummspannung	Verhältnis Brumm zu Nutz
70 Hz	2 V	71	0	0
	3 V	107	0,2	$5,5 \cdot 10^{-3}$
	4 V	143	0,4	$10,8 \cdot 10^{-3}$
	5 V	178	2,2	$59 \cdot 10^{-3}$
	6 V	214	3,9	$105 \cdot 10^{-3}$
100 Hz	2 V	50	0	0
	3 V	75	0	0
	4 V	100	0	0
	5 V	125	0,24	$6,5 \cdot 10^{-3}$
	6 V	150	0,6	$16,2 \cdot 10^{-3}$

Besonders interessant ist natürlich die Frage der gegenseitigen Beeinflussung dann, wenn über den AM-Kanal dieselbe Frequenz läuft, die als Verwerfungsfrequenz dem FM-System aufgedrückt wird. Für diejenigen Fälle nämlich, in denen mittels einer verhältnismäßig niedrigen Frequenz die Frequenzmodulation vorgenommen wird, kann ein größerer Störanteil, der im AM-Kanal auftritt, auch dann noch zugelassen werden, wenn das Nutzband des AM-Kanales erst oberhalb der Wobelfrequenz beginnt. Als Beispiel sei eine Wobelfrequenz von 70 Hz genannt, während das AM-Band beispielsweise erst bei 100 Hz beginnen soll. In diesem Falle ist es durchaus möglich, durch einen Hochpaß den im AM-Signal enthaltenen 70 Hz-Ton zu unterdrücken, auch wenn sein Anteil 10...20% beträgt. Der sende- und empfangsseitige Aufwand für Gleichlauf, konstantes Dämpfungsmaß im Band usw. kann dann viel kleiner gemacht werden. Eines der Ziele dieser Untersuchung war aber, festzustellen, wie weit bei sorgfältiger Beachtung der Bedingung [1] die Störung von zwei gleichen Frequenzen sich unterdrücken läßt.

Der Versuch wurde mit 100 Hz durchgeführt und bei 35% Modulation des AM-Kanales bei 125-kHz-Hub des FM-Kanales eine Schwebung in der Ausgangsspannung des AM-Kanales zwischen 34,5 und 35,5 V gemessen, d. h. also 3% Schwebungsamplitude. Bei einer Lautsprecherwiedergabe ist diese kaum wahrnehmbar.

Ein weiteres Ergebnis in dieser Richtung ist dem Kurvenbild 11 zu entnehmen, in dem der Frequenzgang des AM-Kanales mit und ohne Wobbelung aufgezeichnet wurde. Bei der FM-Frequenz von 70 Hz, mit der gearbeitet wurde, ist im Falle der Wobbelung eine leichte 70-Hz-Schwebungszacke zu bemerken. Der FM-Hub betrug hierbei 180 kHz bei einem Modulationsgrad von 71% für die AM.

Mit der Abb. 11 ist außerdem die Frage nach der Änderung des Frequenzganges bei Einschalten der Wobelfrequenz beantwortet. Offenbar tritt keinerlei

(Fortsetzung auf Seite 91)

FUNK UND TON-TABELLEN

Viele Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker haben ihre Bücher und ihr Tabellenmaterial durch den Krieg verloren. Die Drucklegung größerer Nachschlagewerke war schon in normalen Zeiten nicht einfach und erforderte große Aufwendungen. Heute sind diese Schwierigkeiten fast unüberbrückbar, so daß noch eine geraume Zeit verstreichen wird, bis derartige Arbeiten in größerem Umfang in Buchformat zur Verfügung stehen.

Die Redaktion von FUNK UND TON versucht nun, durch die Einführung einer Tabellensammlung diese Lücke zu überbrücken, und veröffentlicht in jedem Heft vier Druckseiten, die von dem Leser leicht herausgenommen und nach eigenen Gesichtspunkten abgeheftet werden können.

Für Wünsche und Anregungen zur Ausgestaltung der Tabellensammlung sind wir unseren Lesern und Autoren sehr dankbar und bitten um Einsendung von Veröffentlichungsmaterial.

Begriffsbestimmung

Die Kapazitätsgröße stellt die Beziehung zwischen der an einen Kondensator angelegten Spannung und dessen Ladung her, und zwar ist letztere gleich dem Produkt von Spannung und Kapazität.

Ein idealer Kondensator besteht aus zwei durch einen reinen Isolator getrennten Leitern. Seine Kenngrößen sind:

die elektrische Feldstärke $\mathcal{E} = -\text{grad } U$, wobei U die angelegte Spannung bedeutet,

die dielektrische Verschiebung $\mathcal{D} = \frac{Q}{F}$; hierbei stellt Q den elektr.

Fluß und F die durchsetzte Fläche dar. (Der Verschiebungsfluß wird gewöhnlich mit Q bezeichnet, da der von einer Elektrode ausgehende Verschiebungsfluß gleich der Ladung der Elektrode ist.)

Es ist $\mathcal{D} = \epsilon_0 \epsilon \cdot \mathcal{E}$ und $\text{div } \mathcal{D} = \rho$; $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^{11}} = 8,859 \cdot 10^{-14} \frac{\text{F}}{\text{cm}}$

$\text{div } \mathcal{D}$ ist im allgemeinen $= \rho = \text{Raumladungsdichte}$, und nur dann 0, wenn keine Raumladungen vorhanden sind.

Meßgrößen: \mathcal{E} Feldstärke. in Vcm^{-1} Q Ladung in Coulomb (C)
 \mathcal{D} Verschiebung in Ccm^{-2} bzw. Verschiebungsfluß

Die Einheit der Kapazität im technischen Maßsystem ist das Farad, d. i. die Kapazität, die durch die Ladung 1 Coulomb auf 1 Volt aufgeladen wird.

Praktisch angewendet werden die Größen:

Mikrofarad (μF) = 10^{-6} F

Pikofarad (pF) = 10^{-12} F

daneben aus dem elektrostatischen Maßsystem stammend:

1 cm = 1,11 pF

1 pF = 0,9 cm

Reihenschaltung von Kapazitäten C_1 und C_2 $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

Parallelschaltung von Kapazitäten: $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

dabei liegt an dem kleineren Kondensator die größere Spannung.

Umseitig ist ein Nomogramm gegeben, mit dessen Hilfe das Ergebnis der Reihenschaltung von Kondensatoren oder der Parallelschaltung von Widerständen bzw. Selbstinduktionen ermittelt werden kann. Es empfiehlt sich, den Zahlenwert so der Skala anzupassen, daß der kleinere möglichst nahe bei 1 liegt oder der größere durch den kleineren ausgedrückt wird.

Normen: Papierkondensatoren f. Gleichspannung DIN E 41 140
 Nennkapazitäten und Toleranzen DIN E 41 311
 Keramikkondensatoren DIN E 41 341

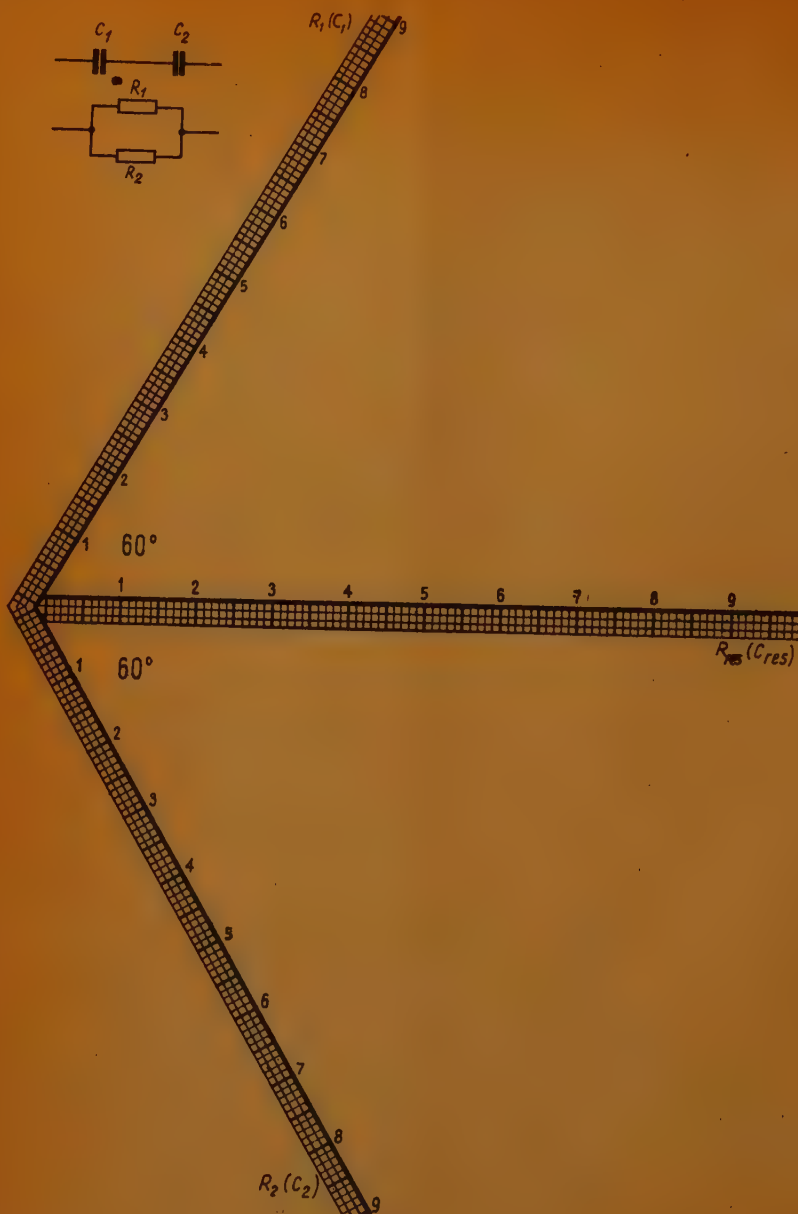
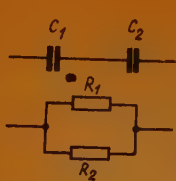


Tabelle 1 Wechselstrom-Widerstände von Kondensatoren
(Abgerundete Zahlen in Ohm)

Kapazität	Hochfrequenz Mittel- und Langwellen-Bereich						Niederfrequenz Tonfrequenz-Bereich		
	Kurzwellen-Bereich								
	30 MHz = 10 m	5 MHz = 60 m	1500 kHz = 200 m	600 kHz = 500 m	483 kHz = 840 m	200 kHz = 1500 m	5000 Hz	400 Hz	50 Hz
8 μ F	0,00066	0,00398	0,0133	0,033	0,0425	0,100	3,98	49,7	398
6 μ F	0,00088	0,0053	0,0177	0,044	0,057	0,133	5,30	66,4	530
2 μ F	0,00265	0,0159	0,053	0,132	0,17	0,398	15,9	199,0	1 590
1 μ F	0,00530	0,0318	0,106	0,265	0,34	0,795	31,8	398,0	3 180
0,5 μ F	0,0106	0,0635	0,212	0,53	0,68	1,59	63,5	796	6 350
0,2 μ F	0,0265	0,159	0,53	1,32	1,70	3,98	159,0	1 990	15 900
0,1 μ F	0,053	0,318	1,6	2,65	3,40	7,95	318,0	3 980	31 800
0,05 μ F	0,106	0,635	2,12	5,3	6,8	15,9	635	7 960	63 500
0,02 μ F	0,265	1,59	5,30	13,3	17,0	39,8	1 590	19 900	159 000
0,01 μ F	0,530	3,18	10,60	26,5	34,0	79,5	3 180	39 800	318 000
5000 pF	1,06	6,35	21,2	53	68	159	6 350	79 600	635 000
2000 pF	2,65	15,9	53,0	132	170	398	15 900	199 000	1 590 000
1000 pF	5,30	31,8	106,0	265	340	795	31 800	398 000	3 180 000
500 pF	10,6	63,5	212	530	680	1 590	63 500	796 000	6 350 000
200 pF	26,5	159,0	530	1 320	1 700	3 980	159 000	1 990 000	15 900 000
100 pF	53,0	318,0	1 060	2 650	3 400	7 950	318 000	3 980 000	31 800 000
50 pF	106	635	2 120	5 300	6 800	15 900	635 000	7 960 000	63 500 000
20 pF	265	1 590	5 300	13 200	17 000	39 800	1 590 000	19 900 000	159 000 000
10 pF	530	3 180	10 600	26 500	34 000	79 500	3 180 000	39 800 000	318 000 000

Tabelle 2 Dielektrizitätskonstante und dielektrischer Verlustwinkel fester Isolierstoffe der Hochfrequenztechnik

	Dielektr. Konstante ϵ	Änderung der dielektr. Konstanten pro 1° C $\Delta \epsilon \times 10^4$	Dielektrischer Verlustwinkel $\tan \delta \times 10^4$ bei 20° C				
			300 kHz = 1000 m	100 kHz = 300 m	3 MHz = 100 m	10 MHz = 30 m	50 MHz = 6 m
Bakelit	3...5	—	100	160	200	220	260
Calit	6,5	+1,2...+1,6	4,1	3,8	3,7	3,4	3,2
Condensa C	80	-7,0...-7,4	7,2	5,6	4,1	3,2	2,8
Condensa N	40	-3,4...-3,8	8,5	6,9	5,5	4,6	4,2
Frequenta	5,5...6,5	1,0	—	—	2...5	—	—
Glimmer	7	+0,6...+1,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Hartgummi ...	3	—	65	64	61	57	53
Kerafar V	18	-1	—	—	10...15	—	—
„ T bzw.	45	-4	—	—	3...6	—	—
„ U	65	-6	—	—	—	—	—
„ R bzw.	80	-7	—	—	5...15	—	—
„ S	70	-6	—	—	—	—	—
Mycalex	8	—	19	18	18	18	18
Pertinax	5,4	—	220	280	350	720	1000
Porzellan	5,4	+5,0...+6,0	70	55	49	63	85
Quarz	4,7	—	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1
Quarzglas	4,2	—	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7
Quarzgut	3,9	—	5,0	5,2	5,5	5,8	7,0
Tempa N	12,5	-0,2...-0,4	15	13	11	9,8	8,4
Tempa S	14	+0,3...+0,5	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7
Trolitul	2,2	—	4,1	3,9	3,7	4,5	5,4

(Fortsetzung von Seite 90)

Beeinflussung ein. Die leichte Erhöhung der Empfindlichkeit ist auf eine Änderung der Lage des Arbeitspunktes der Empfängerschwundregelung zurückzuführen.

Neben der Frage nach einer Beeinflussung des Frequenzganges wurde gleichzeitig die Frage nach einer Änderung der nichtlinearen Verzerrungen geprüft.

Als Frequenzen für die Verzerrungsmessung wurden 770 und 830 Hz über den AM-Kanal gegeben, und zwar mit 49% Modulationsgrad. Die Verzerrung des Gesamtkanales ergab sich zu 2,5% quadratischer und 1,4% kubischer Verzerrung.

Es wurde nunmehr mit verschiedenen tiefen Frequenzen zwischen 70 und 100 Hz die synchrone Wobbelung von Sender und Empfänger vorgenommen. Bei Hübten bis zu 250 kHz konnte keine meßbare Verzerrungszunahme wahrgenommen werden.

Mit dieser Messung sind alle Daten des AM-Kanales mit und ohne Vornahme der Frequenzwobbelung festgestellt und damit die Anwendbarkeitsgrenze bestimmt worden.

Mit derselben Anordnung wurde nun unter Benutzung des FM-Empfängers gem. Abb. 2 eine Untersuchung des FM-Kanales vorgenommen.

Da hierbei durch die Einschaltung der AM grundsätzlich keine Störung des Frequenzganges und Erhöhung der Verzerrungen zu erwarten waren, konnte auf diese Messungen von vornherein verzichtet werden.

Interessant ist allein die Frage nach der Störung der FM-Übertragung durch die AM. Da der FM-Empfänger mit einer gut wirkenden Begrenzerstufe versehen ist, ist jedoch die Bedingung [2] weitgehend erfüllt, so daß die Störung als gering erwartet werden konnte.

Die Messung ergab folgendes: bei 75 kHz Hub wurden 200 Hz übertragen und dabei eine relative Ausgangsspannung von 5,5 V erhalten. Werden jetzt

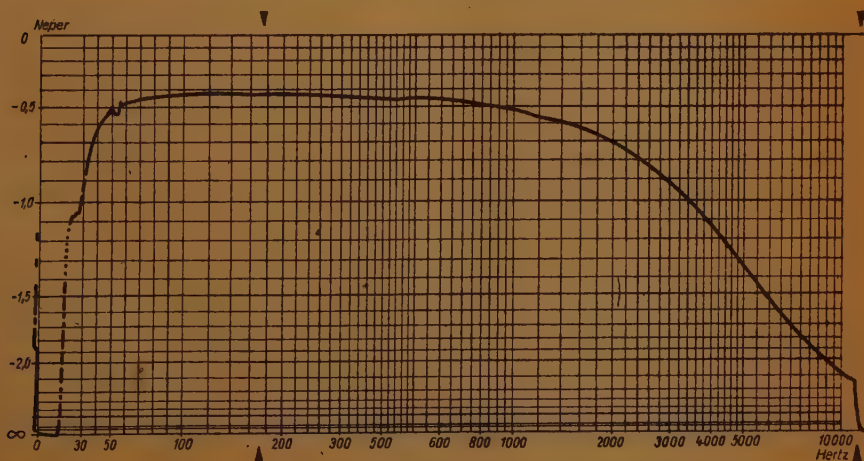


Abb. 10. NF-Frequenzgang des Empfängers, gemessen am Meßsender PHP 22.
Modulationsgrad 48%, Übertragungsfrequenz 4,4 MHz

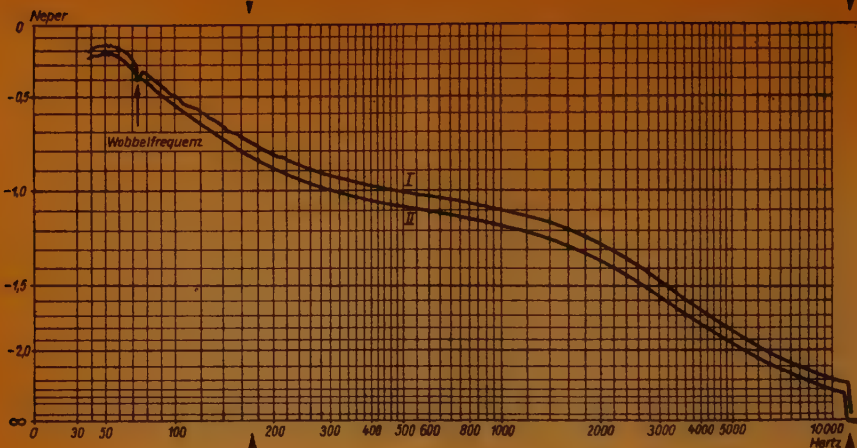


Abb. 11. Kurve I: Übertragung mit Frequenzwobbelung. Wobbelfrequenz 70 Hz, Hub 180 kHz.
Kurve II: Übertragung ohne Wobbelung. Modulationsgrad 71 %

dem Sender 50% AM mit 200 Hz aufgedrückt, sind beim Durchdrehen des Tones keine Schwebungen wahrnehmbar. Nach Abschalten der FM zeigt am Ausgang des FM-Empfängers die vorhandene Störspannung der AM einen Wert von weniger als 5 mV, die Störampplitude liegt also unterhalb 1%. Bei 100/100 Hz wurden die gleichen Ergebnisse erhalten.

Damit sind alle Fragen der gegenseitigen Beeinflussung untersucht worden.

Zusammenfassung

Es werden die Fragen, die beim gleichzeitigen Amplituden- und Frequenzmodulieren des gleichen Senders auftreten, untersucht.

Mittels einer Vorrichtung, bestehend aus dem amplituden- und frequenzmodulierten Sender und je einem Empfänger für Amplituden- und Frequenzmodulation, werden die einschlägigen Fragen meßtechnisch verfolgt. Dabei wird ein Empfänger für die Amplitudenmodulation verwendet, der in seiner Empfangsfrequenz mit dem Sender synchron frequenzgewobbelt ist, wodurch ein Übertragungskanal entsteht, der mit normalen Mitteln nicht abgehört werden kann und der gleichzeitig eine erhöhte Störsicherheit bietet.

Bei gleichzeitiger Frequenz- und Amplitudenmodulation wurde die Größe der gegenseitigen Störung des AM- und FM-Kanales ermittelt.

Der Aufbau der zur Messung benötigten Sender und Empfänger sowie alle Abgleichsmessungen wurde selbständig von Herrn Heinz Quaritsch durchgeführt, dem an dieser Stelle für seine unermüdliche Bereitschaft besonders gedankt sei.

Literatur

- [1] Strutt, Lehrbuch der drahtlosen Nachrichtentechnik, Bd. 4, Verstärker und Empfänger S. 305 ff.
- [2] Unveröffentlichte Berichte des Verf. über Frequenzmodulation mit HF-Eisen.

Die Verwendung stimmgabelgesteuerter Wechselrichter als frequenzkonstante Wechselstromquelle

Für die Durchführung einer Vielzahl von Messungen ist das Vorhandensein einer frequenzkonstanten Wechselspannung unerlässlich. Dies trifft vor allem bei Zeit- bzw. Frequenzmessungen zu. Die konstante Frequenz bildet bei diesen Meßverfahren das Normal. Bei direkt anzeigenden Frequenzmeßgeräten wird dieses Normal für die Eichung bzw. Prüfung der Meßapparatur Verwendung finden, während bei Vergleichsmeßmethoden die auftretende Schwebungsfrequenz ein Maß für die Abweichung der zu messenden Frequenz von der Normalfrequenz ist. Bei der Zeitmessung wird man dagegen die durchlaufende Anzahl der Perioden einer Normal-Frequenz während der zu bestimmenden Zeitdauer zur Meßwertbildung heranziehen.

Zur Erzeugung von Wechselspannungen mit extrem hoher Frequenzkonstanz eignen sich vorwiegend quarz- oder stimmgabelgesteuerte Röhrengeneratoren. Die erzielbaren Genauigkeiten liegen bei beiden Arten unter weitgehendster Berücksichtigung der Störeinflüsse etwa in der gleichen Größenordnung. Für höhere Frequenzen von etwa 1000 Hz aufwärts wird man dem quarzgesteuerten Röhrengenerator den Vorzug geben, während für niedrigere Frequenzen der stimmgabelgesteuerte Generator das Feld beherrscht.

Nachfolgend soll nun ein derartiger stimmgabelgesteuerter Röhrengenerator beschrieben werden. Er weicht insofern von der üblichen Bauweise dieser Geräte ab, da bei ihm statt Hochvakuum-Elektronenröhren für die Erzeugung der Wechselspannung gittergesteuerte Glühkathoden-Entladungsröhren verwendet werden. Das Gerät dient vorwiegend in Verbindung mit Zeitmessern mit Synchronmotor-Antrieb der Kurzzeitmessung. Hier wird es beispielsweise als Zeitnormal bei der Eichung und Prüfung von mechanischen Laufwerken aller Art eingesetzt. Damit ist jedoch keineswegs die Anwendungsmöglichkeit derartiger Geräte erschöpft, sondern sie erlangen in neuester Zeit immer zunehmendere Bedeutung als frequenzkonstante Wechselstromquellen. Dies ist allein durch die Tatsache bedingt, daß die Elektrizitätswerke sowohl jetzt als auch voraussichtlich für die nächste Zeit nicht in der Lage sein werden, Speisespannungen mit konstanter Frequenz zu liefern. Bis vor wenigen Jahren wurde eine Frequenzregelung der Netzspannungen seitens der Stromversorgungsbetriebe bis zu einer Konstanz von einigen Promille gewährleistet. Heutzutage ist dagegen mit Frequenzschwankungen von einigen Prozenten zu rechnen. Dies mußten zu ihrem Leidwesen auch alle Besitzer elektrischer Synchronuhren feststellen, da diese auf Grund der enormen Frequenzschwankungen und der damit bedingten Gangfehler bis zu einigen Stunden pro Tag wohl kaum mehr als Zeitmeßgerät Anwendung finden können. Es ergibt sich somit die Notwendigkeit, für bisher aus dem frequenzkonstanten Wechselspannungsnetz gespeiste Meßeinrichtungen besondere Wechselstromquellen konstanter Frequenzen zu schaffen. Die abgegebenen Wechselspannungen und Frequenzen müssen dabei den früheren Werten der Netzspannung entsprechen. Die nachfolgend beschriebene eigenerrregte stimmgabelgesteuerte Wechselrichter-Anlage liefert daher eine Ausgangsspannung von 220 Volt mit einer Frequenz von 50 Hz.

Die Gesamtanlage umfaßt die auf einem massiven gußeisernen Fuß aufgebaute Stimmgabel, das eigentliche Röhrengerät und eine nachzuschaltende Leistungsstufe.

Der eigenerrgte stimmgabelgesteuerte Wechselrichter verwendet in der Endstufe an Stelle der sonst üblichen Hochvakuum-Verstärkerröhre einen aus zwei gittergesteuerten Glühkathoden-Entladungsröhren gebildeten Wechselrichter. Auf seine Wirkungsweise sei später eingegangen. Dieser Wechselrichter ist wegen der niedrigen Frequenz von 50 Hz und zur Vermeidung von vormagnetisierten Magnetsystemen für die Stimmgabelerregung als Frequenzumsetzer geschaltet. Dadurch ist eine 100 Hz-Stimmgabel verwendbar.

Zum Verständnis der Wirkungsweise des Gerätes sei kurz auf die Vorgänge im Wechselrichter eingegangen. Abbildung 1 stellt das Prinzipschaltbild eines eigenerrgten Wechselrichters dar. Die beiden Röhrenkreise, bestehend aus je einer Gasentladungsröhre, den beiden zugeordneten Anoden-Widerständen und einem gemeinsamen Katodenwiderstand, bilden zusammen mit dem Kondensator C eine Kippanordnung. Die Röhren wirken dabei wie Schalter, d.h. sie sperren oder öffnen abwechselnd einen der Stromkreise. Ihr äußerst geringer innerer Widerstand und die niedrige Brennspannung haben zur Folge, daß die Stromwerte in den Röhrenkreisen nur durch die äußeren Widerstandswerte bestimmt sind. Demnach haben Änderungen der Röhrendaten (Brennspannungsänderungen) einen geringen Einfluß auf die Gesamtverhältnisse im Stromkreis.

Abb. 1: Prinzipschaltbild eines eigenerrgten Wechselrichters

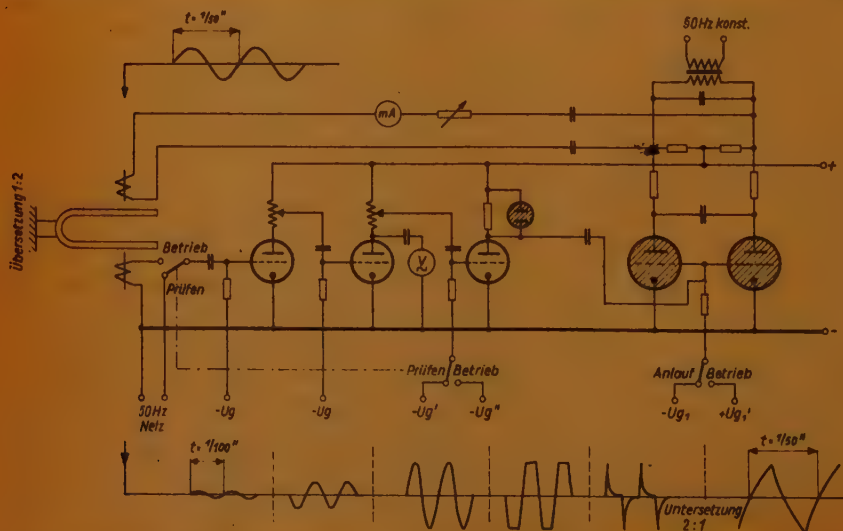
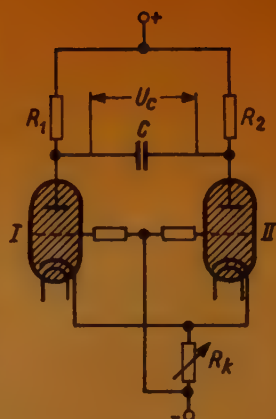


Abb. 2: Schematische Darstellung des elektrischen Aufbaus und der Wirkungsweise des gesamten Röhrengerätes

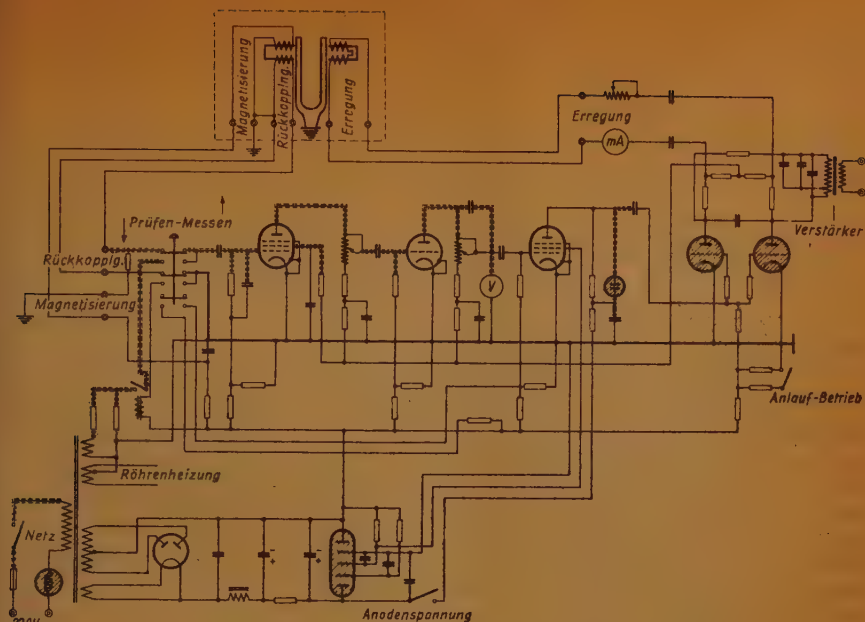


Abb. 3: Schaltplan des stimmgabelgesteuerten Wechselrichters

Über längere Zeiträume hinweg werden also Gasentladungsröhren gegenüber Hochvakuum-Elektronenröhren erhöhte Konstanz aufweisen. An den Klemmen des gemeinsamen Kippkondensators entsteht durch wechselnde Umladung eine Wechselspannung. Die Spannungshöhe und die Frequenz sind durch die Daten der Schaltelemente bestimmt. Die Änderung des Katodenwiderstandes gestattet eine Regulierung der Eigenfrequenz sowie der Höhe der Wechselspannung. Durch erhöhte negative Gittervorspannung kann dieser selbst erregte Zustand unterbrochen werden. Ein Zünden der Entladungsstrecke ist dann nur durch zusätzliche positive Gitterspannungsimpulse möglich. In diesem Falle spricht man von einem fremdgesteuerten Wechselrichter. Zur Erzielung günstiger Kurvenformen der Wechselspannung wird man bei dieser Art der Steuerung die Eigenfrequenz möglichst der Frequenz der fremd zugeführten Steuerung anpassen. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang der in der FUNK-TECHNIK erscheinende Aufsatz „Gittergesteuerte Glühkatoden-Gasentladungsröhren, ihre Wirkungsweise und Anwendung“.

In Abbildung 2 sind der elektrische Aufbau und die Wirkungsweise des gesamten Röhrengerätes schematisch dargestellt. In der Anlaufstellung arbeitet der Wechselrichterkreis durch Betätigung des Schalters S_1 bei verringerter Gittervorspannung in Eigenerregung mit nahezu 50 Hz. Von der so entstehenden Wechselspannung wird kapazitiv eine Teilspannung der Erregwicklung der Stimmgabel zugeführt. Im Gegensatz zu der üblichen Art enthält das Erregersystem keinen Permanent-Magneten, sondern einen Weicheisenkern. Infolgedessen tritt eine Frequenzverdoppelung im mechanisch schwingenden System auf. Da jedoch die Stimmgabel für eine Eigenfrequenz von 100 Hz ausgelegt ist,

erfolgt ihr Anstoß mit der richtigen Frequenz. Diese Maßnahme wurde ergriffen, um einmal jegliche Dämpfung der Stimmgabel-Schwingungen durch konstante Magnetfelder zu vermeiden und andererseits auch von einer zeitlichen Feldstärkeänderung derartiger Dauermagnete unabhängig zu sein. Generell ist bei der Verwendung von Stimmgabeln zu beachten, daß zur Erzielung großer Frequenzgenauigkeiten die Stimmgabel mit möglichst kleiner Amplitude und weitgehendst ungedämpft schwingen soll. Eine weitere Voraussetzung ist die Erhaltung der Konstanz von Amplitude und Dämpfung und damit auch von Erregerstrom, Temperatur und Luftdruck. Durch geeignete Materialauswahl lassen sich die Temperatureinflüsse unterdrücken. Bedingung dafür ist, daß Längenänderungen und parallel laufende Änderungen des Elastizitätsmoduls gegenläufige Wirkungen auf den Frequenzgang ausüben.

Von der schwingenden Stimmgabel wird über ein zweites Magnetsystem mit Gleichstrom-Magnetisierung eine Wechselspannung abgenommen, deren Frequenz der des schwingenden Stimmgabelzinkens gleich ist. Um auch durch dieses zweite Magnetsystem größere Dämpfungen zu vermeiden, ist die magnetische Feldstärke äußerst gering gewählt. Die erzeugte Wechselspannung beträgt demnach auch nur etwa 50...100 Millivolt, die einem dreistufigen Wechselstromverstärker zugeführt wird. Der Gesamtverstärkungsfaktor ist so hoch, daß in der letzten Verstärkerstufe eine beträchtliche Übersteuerung stattfindet, wodurch die anfänglich sinusförmige Wechselspannungskurve in eine trapezförmige umgewandelt wird. Durch diese Maßnahme gewinnt man Steuerspannungen, deren



Abb. 4. Praktische Ausführung eines Wechselrichters

Aufnahme Verfasser

steile Flanken einen zeitlich konstanten Zündensatz auch dann gewährleisten, wenn Änderungen der Zündcharakteristik auftreten sollten. Da für die Zündung ein kurzzeitiger Spannungsimpuls

ausreicht, sind die Gitter der Entladungsröhren über einen kleinen Kondensator an die Endstufe angekoppelt.

Jeder positive Impuls zündet abwechselnd eine der Röhren. Es ergibt sich also eine Frequenzuntersetzung im Verhältnis 2:1, d.h. die Steuerung des Wechselrichters erfolgt mit einer Frequenz von 100 Hz. Der Wechselrichter liefert jedoch 50 Hz und durch die Frequenzverdoppelung des nicht vormagnetisierten Magnetsystems wird die Stimmgabel wiederum mit 100 Hz angestoßen. Schwingt der Gesamtkreis durch diese Rückkoppelung, so wird durch Umlegen des Schalters S_1 der Wechselrichter durch Erhöhung der negativen Gittervorspannung auf die Fremdsteuerung umgeschaltet. Zur Aufrechterhaltung des Schwingbetriebes ist dann die Lieferung genügend hoher Steuerspannungen vom Verstärkerkreis Voraussetzung. Soll die Frequenz konstant bleiben, so müssen die Stromspannungswerte wie auch deren Phasenlagen konstant gehalten werden. Die gesamte Anordnung stellt letzten Endes eine rückgekoppelte schwingungsfähige Röhrenschaltung dar, bei der die Stimmgabel als mechanisches Schwingungsgebilde nur einen frequenz-stabilisierenden Einfluß ausübt, andererseits jedoch auch die Dämpfung bestimmt. Geringfügige Änderungen im Erregerstrom bedingen Amplitudenänderungen der schwingenden Stimmgabel und damit ebenfalls Änderungen seiner Eigenfrequenz, da diese von der Amplitudenweite abhängig ist. Für die Schwingungsamplitude der Stimmgabel ist jedoch nicht nur die Größe des Erregerstromes maßgebend, sondern auch in sehr beträchtlichem Maße die Phasenlage des erregenden Wechselstromes zu der des schwingenden Stimmgabelzinkens. Tritt das Strommaximum gerade zu solchem Zeitpunkt auf, in dem die Kraftwirkung des Magnetfeldes die schwingende Bewegung des Stimmgabelzinkens unterstützt, so wird dessen Amplitude anwachsen, während bei entgegengesetzter Phasenlage eine Abbremsung erfolgt. Eine derartige Phasenänderung könnte auftreten, wenn sich der Verstärkungsfaktor des Verstärkers ändern würde. Die Zündung der Gas-Entladungsröhren würde dann in einem anderen Phasenpunkt erfolgen. Um solche Einflüsse zu vermeiden, sind die Verstärkungsfaktoren der einzelnen Stufen regelbar. Zur Überprüfung des geforderten Verstärkungsfaktors wird über einen Umschalter in der Stellung „Prüfen“ dem Eingang eine Wechselspannung aus dem Netz zugeführt. Ein Voltmeter in der zweiten bzw. eine Glühlampe in der dritten Stufe dienen der Anzeige der richtigen Verstärkungsziffern. Mittels Potentiometer erfolgt ihre Einregelung auf den Sollwert. Zeigt das Wechselspannungs-

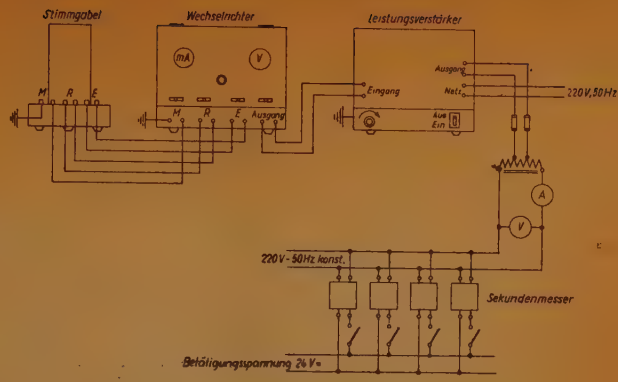


Abb. 5. Verwendung des Wechselrichters für den Betrieb von Synchron-Sekundenmessern für eine Zeitmeßanlage

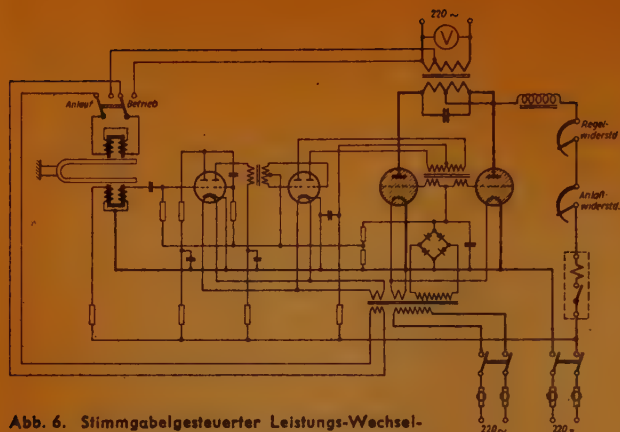


Abb. 6. Stimmgabelgesteuerter Leistungs-Wechselrichter für die Speisung aus dem Gleichstromnetz

voltmeter die geforderte verstärkte Spannung an, so muß gleichzeitig in der Endstufe die Glimmlampe gerade zünden. Wegen der großen Spannungswerte am Gitter der letzten Verstärkerröhre erhält dieses in der Prüfstellung eine hohe negative Vorspannung.

Abbildung 2 läßt schematisch den zeitlichen Verlauf und die Höhe der

erzeugten Wechselspannung in den einzelnen Röhrenkreisen erkennen. Die vom Wechselrichter erzeugte Spannung setzt sich dabei aus zwei nach einer e-Funktion verlaufenden Kippspannungen zusammen.

Soll das vorstehend beschriebene Gerät der Erzeugung einer 50-periodigen Wechselspannung extrem hoher Frequenzgenauigkeit dienen, so ist eine Belastung durch nachgeschaltete Verbraucher weitmöglichst zu vermeiden. In solchen Fällen dient das Gerät nur zur Steuerung nachgeschalteter Leistungsstufen, die entweder durch einen handelsüblichen Leistungsverstärker mit Elektronenröhren oder durch einen Leistungs-Wechselrichter mit steuerbaren Gas-Entladungsröhren gebildet werden. Ein Teil der Wechselrichterspannung wird dann einem Ausgangsübertrager zugeführt. Dieser liefert die Steuerspannung für den nachzuschaltenden Leistungsverstärker. Durch parallelgeschaltete Kapazitäten erfolgt eine Abstimmung auf die Grundfrequenz von 50 Hz. Es wird somit eine sinusförmige Ausgangsspannung auf der Sekundärseite geliefert.

Abbildung 3 zeigt den genauen Schaltplan des stimmgabelgesteuerten Wechselrichters. Die Stromversorgung des Gerätes erfolgt über einen Gleichrichter. Die Gleichspannungen sind durch einen Glimmstrecken-Spannungsteiler stabilisiert. Um langsame Netzspannungs-Schwankungen auch den Heizkreisen des Gerätes fernzuhalten, ist dem Transformator primärseitig ein Eisenwasserstoff-Widerstand vorgeschaltet.

Die Abbildung 4 zeigt die praktische Ausführung eines derartigen Wechselrichters. Das Bild läßt die besonders kräftige Ausführung des Stimmgabel-Fußes erkennen. Diese Maßnahme ist notwendig, um ein Mitschwingen der Stimmgabelspannung zu vermeiden.

Abbildung 5 veranschaulicht die Verwendung des Wechselrichters für den Betrieb von Synchron-Sekundenmessern für eine Zeitmeßanlage, wie sie etwa für die Eichung bzw. Prüfung von Uhrwerken Verwendung findet. Derartige Meßanlagen liefern eine Frequenz mit einer absoluten Frequenzgenauigkeit von $50 \pm 0,001$ Hz bei einer Frequenzkonstanz von 0,0001 Hz. Diese Genauigkeit bedingt jedoch ein Einhalten der vorgeschriebenen Raumtemperatur bis auf $\pm 1^\circ \text{C}$.

Als Hochvakuumröhren-Leistungsverstärker eignen sich nur Gegentaktstufen in A-Schaltung. Auf eine gute Ausbiebung der Netzfrequenz ist dabei besonderes Augenmerk zu richten, da sonst leicht Schwebungserscheinungen auftreten können.

Für Verwendungszwecke, bei denen geringere Genauigkeitsforderungen gestellt werden, genügen direkt gesteuerte Leistungswechselrichter zur Verbraucherspeisung. Der Aufwand an Schaltmitteln ist dann wesentlich geringer und man kommt so zu einfacheren und billigeren Geräten. Auch der Gesamtwirkungsgrad der Anlage bei Berücksichtigung der aufgenommenen Leistung zur abgegebenen gestaltet sich günstiger, da die Wechselrichter etwa mit einem Wirkungsgrad bis zu 80% arbeiten, während die Röhrenverstärker einen solchen von höchstens 30% aufweisen. Es bereitet so keinerlei Schwierigkeiten, Wechselrichteranlagen bis zu einigen 100 Watt Nutzleistung zu erstellen. Vorteilhaft ist dabei die Möglichkeit etwaige vorhandene Gleichstromnetze für die Speisung der Wechselrichter verwenden zu können. Damit kommt auch der für Röhrenverstärker hoher Leistungsabgabe notwendige Hochspannungsgleichrichter in Fortfall.

Abbildung 6 zeigt einen stimmgabelgesteuerten Leistungs-Wechselrichter für die Speisung aus dem Gleichstromnetz. Diese Art von Wechselrichtern gestattet Leistungsabgaben bis zu mehreren hundert Watt. In der prinzipiellen Wirkungsweise ähnelt er dem vorstehend beschriebenen Gerät. Für die Verstärkung der von der Stimmgabel gelieferten Wechselspannung dient ein mehrstufiger Verstärker mit Transformatorkopplung und Gegentaktausgangsstufe. Als geeignet haben sich die Röhren EDD 11 erwiesen. Auch bei diesem Verstärker wird Wert darauf gelegt, daß durch Übersteuerung der Endstufe dem Gitterkreis des Wechselrichters steile kurzzeitige Spannungen zugeführt werden. Die Gittervorspannung für die Gas-Entladungsröhren wird einem Trockengleichrichter entnommen. Der Anstoß der Stimmgabel erfolgt durch Schalterbetätigung aus dem Wechselstromnetz. Zur Inbetriebnahme des Wechselrichters wird ein Anlaßwiderstand betätigt, und damit der Wechselrichter langsam hochgefahren. Die sinusförmige Kurvenform der erzeugten Wechselspannung konstanter Frequenz wird durch die richtige Dimensionierung des Ausgangs-Transformators und des Kommutierungs-Kondensators erzielt. Von gleicher Wichtigkeit für das einwandfreie Arbeiten des Wechselrichters ist die Anodendrossel. Die Abgabespannung ist belastungsabhängig. Ein niederohmiger Regelwiderstand dient der Nachregelung dieses Spannungswertes. Zur Sicherung gegen evtl. auftretende Durchzündungen der Röhren liegt in dem Hauptkreis fernerhin ein Überstromautomat. Zu beachten ist bei dem Betrieb von Glühkathoden-Gasentladungsröhren ganz allgemein die Innehaltung der vorgeschriebenen Anheizzeit. Bei ungenügender Katodentemperatur sowie bei zu niedrigem Dampfdruck quacksilbergefüllter Röhren entstehen thermische Lichtbögen und damit eine Katodenzerstörung. Die zu erwartende Frequenzabweichung liegt bei dieser Art stimmgabelgesteuerter Leistungs-Wechselrichter in der Größenordnung von 10^{-5} . Diese Genauigkeit dürfte für viele Anwendungszwecke des stimmgabelgesteuerten Wechselrichters als Wechselstromquelle konstanter Frequenz ausreichend sein. Dabei ist in jedem Falle zu beachten, daß sowohl die absolute Frequenz als auch deren zeitliche Änderung im Wesentlichen von der guten Beschaffenheit, sorgfältigen Behandlung und günstigen Betriebsbedingungen der Stimmgabel abhängt. Es ist daher auf erschütterungsfreie Aufstellung, staubsichere Abkapselung und möglichstste Temperaturkonstanz zu achten.

Ultrakurzwellen-Ausbreitung

Übersicht über die Theorien und das Schrifttum

Zusammenfassung

Es wird eine allgemeine Übersicht über die Ultrakurzwellen-Ausbreitung auf Grund der verschiedenen Theorien und der praktischen Untersuchungen der verschiedenen Verfasser gegeben sowie eine Literaturzusammenstellung, in welcher die wichtigsten Arbeiten erfaßt worden sind.

Einleitung

Als Ultrakurzwellen bezeichnen wir den Bereich von 30 bis 300 MHz (10 bis 1 m). Bezüglich der Ausbreitung sind folgende drei Hauptbereiche zu betrachten:

- A. Nahausbreitung (etwa 0...10 km)
- B. Mittlere Entfernungen (etwa 10...200 km)
- C. Sehr große Entfernungen (größer als 200 km)

Sonderfälle der Anwendung unter A und B sind die Ausbreitung über Stadtgebiet, welche für das Fernsehen wichtig ist, und die Ausbreitung für größere Höhen von Sender und Empfänger oder einem von beiden, wie sie im Flugfunkverkehr vorkommen.

I. Grundsätzliches zur Ausbreitung der Ultrakurzwellen

Maßgebend für den gesamten Ausbreitungsvorgang ist zunächst das Vertikal-diagramm des Senders, das sich aus dem Zusammenwirken (Superposition) der direkten Strahlung mit der am Erdboden reflektierten ergibt. Die Behandlung der Reflexion erfolgt dabei fast allgemein nach der Methode des Spiegelbildes, soweit die Entfernungsbereiche A und B in Frage kommen. In einiger Entfernung vom Sender betrachtet man zweckmäßig an Stelle des polaren Vertikal-diagramms das Höhendigramm, senkrecht über einem festen Punkt mittels Flugzeugs gemessen¹⁾. In größerer Entfernung vom Sender bleibt dieses Höhendigramm nicht proportional gleichartig, wie es einer völlig geradlinigen Ausbreitung oberhalb einer ebenen Fläche entsprechen würde. Hier tritt die Wirkung der Erdkrümmung ein. Zu berücksichtigen ist an der Grenze des Bereichs B ferner die Strahlenbrechung in der Atmosphäre, durch deren Veränderlichkeit nunmehr auch zeitliche Schwankungen der Feldstärke auftreten, insbesondere außerhalb der optischen Sicht. Bei Gruppe C, der Ausbreitung über sehr große Entfernungen, wirken sich die Reflexionserscheinungen,

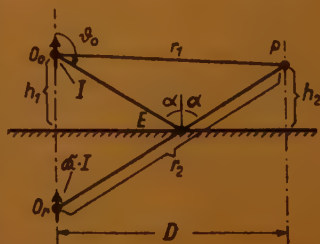


Abb. 1. O_s = Sender; O_r = Spiegelbild des Senders; P = Empfangspunkt

1) Von dem Polardiagramm wäre hier nur ein kleiner Winkelbereich ausnutzbar, ferner bewirkt die Erdkrümmung, daß Winkel unterhalb der Horizontalen auftreten.

nungen an der Ionosphäre zusätzlich aus. Die mit diesen verbundenen Ausbreitungsstörungen bedürfen noch weitgehender Untersuchungen und technischer Vorkehrungen zu ihrer Behebung.

II. Übersicht über die verschiedenen Theorien

1. Grundsätzliche Behandlungsmethoden

a) Aufgabenstellung: Zu berechnen ist für gegebene Frequenz, Leistung und Antennenform des Senders, sowie für gegebene Höhen von Sender und Empfänger die elektrische Feldstärke am Orte des letzteren.

Sowohl bei den Theorien wie bei den Messungen ist die vertikale Polarisierung (Vertikalantennen in Sender und Empfänger) bisher bevorzugt worden; über horizontale Polarisierung findet man weniger Angaben.

b) Trennflächenansätze: Ausgangspunkt sind die Maxwell'schen Feldgleichungen, die für jedes der beiden Medien, Luft und Erde, gelten. In der Trennfläche müssen bekanntlich, als grundsätzliche Bedingung, die tangential zu ihr bzw. beiderseits in ihr liegenden Komponenten der elektrischen und magnetischen Feldstärken einander gleich sein. Die Feldstärken erscheinen als Ableitungen des Hertz'schen Vektors. Die Koordinaten werden dem Problem entsprechend gewählt, also beispielsweise Zylinder- oder Kugelkoordinaten bei Ausbreitung über eine Kugel. Um der Deformation des primären, ungestörten Feldes Rechnung zu tragen, setzt man das Feld im Luftraum als Summe zweier Teilfelder an, von denen das eine das primäre, das andere das reflektierte Feld ist. Als grundlegende Feldfunktion tritt der Hertz'sche Vektor auf, der vielfach mit Π , von uns mit Z bezeichnet wird. Im Luftraum (Medium 1) gilt also

$$Z_1 = Z_0 + \Sigma Z_r$$

Das reflektierte Teilfeld wird sich dabei im allgemeinen, ebenso wie auch das Feld im zweiten Medium, als unendliche Summe von Teillösungen ergeben. Im Falle einer ebenen spiegelnden Fläche kommt man je mit einer Lösung Z_r bzw. Z_2 aus.

Asymptotische Entwicklungsmethoden: Eine Reihe von Ansätzen führt auf Funktionen, die sich nicht mehr elementar auswerten oder aus vorhandenen Tafeln entnehmen lassen. Um zu numerischen Ergebnissen zu gelangen, sind verschiedentlich Näherungslösungen durch Reihenentwicklungen vorgenommen worden. Der hierzu nötige mathematische Aufwand ist teilweise so groß, daß eine eingehende Prüfung nur dem Fachmathematiker möglich ist. Soweit die Endresultate in Kurven niedergelegt sind, lassen sie jedoch einen guten Vergleich untereinander und mit Meßergebnissen zu.

Spiegelbildmethoden: Der Vorgang der Reflexion und Brechung an einer Ebene kann in einfacher Weise geometrisch-optisch gedeutet werden. Man setzt zu diesem Zwecke unterhalb der Trennebene ein Spiegelbild des Senders an, das man sich als Ausgangspunkt des reflektierten Feldes Z_r denkt. Ansatz und Lösung erfolgen aus der obengenannten Gleichheitsbedingung für die tangentialen Feldstärken und sind exakt. Nimmt man als Strom in dem Sendedipol den Wert 1 (Amp.) an, so ist bei vollkommen leitender Erde der Strom des Spiegelbildes für vertikalen Dipol mit $+1$, für horizontalen Dipol mit -1 anzusetzen. Für Erde mit endlichen Werten von ϵ und σ (Dielektrizitätskonstante und Leitfähigkeit) ergeben sich komplexe, von den Strahlrichtungen abhängige Koeffizienten, die verhältnismäßig leicht berechnet oder aus Kurvenblättern entnommen werden können. Die Feldstärken des direkten und des vom Spiegelbild kommenden reflektierten Strahles sind dann im Empfangspunkt zu addieren.

Diese Methode läßt sich für die Kugel mit ihren Vielfachbrechungen und -reflexionen nicht mehr exakt anwenden, ist aber noch brauchbar für eine mäßig gekrümmte Fläche, da die Ultrakurzwellen außerhalb des optischen Horizontes bereits stark abnehmen, also die Betrachtung der ganzen Kugel nicht nötig ist. Bei solcher Behandlung erhält man einfache, leicht ableitbare Formeln; es wird nicht die gekrümmte Fläche im ganzen behandelt, sondern nur das die Strahlen wirklich reflektierende ebene Teilstück (vgl. Abschnitt II 3b). Selbst der Strahlenbrechung in der Atmosphäre kann man hierbei Rechnung tragen, indem man nach Eckersley [20] einen vergrößerten Erdradius annimmt.

Strahlengangmethoden: In Anlehnung an die physikalische Optik ist es nach dem Fermatschen Prinzip, das jedem Strahl den möglichst kürzesten Weg vorschreibt, auch möglich, die einzelnen Strahlen beim Durchgang durch ein Medium von veränderlichen Brechungseigenschaften zu verfolgen. Reflexion wirkt sich dabei aus als Richtungsänderung nach dem Spiegelungsgesetz, verbunden mit einem Sprung der Amplitude und Phase. Auch die Beugung an Hindernissen kann auf diese Weise als eine stetige Änderung von Richtung, Amplitude und Phase des Strahls beschrieben werden.

2. Ausbreitung über ebene Erde (Reflexion)

Von Zenneck [1], Sommerfeld [3], Weyl [2], Niessen [4] sowie verschiedenen anderen sind asymptotische, annäherungsmäßige Darstellungen abgeleitet worden, doch erscheint ein besonderes Eingehen hierauf wegen ihrer Kompliziertheit an dieser Stelle nicht am Platze. Die ursprünglich von Sommerfeld angegebenen Oberflächenwellen haben in jüngster Zeit einen mehrfachen Widerspruch gefunden.

Es ist andererseits gezeigt worden, daß die Spiegelbildmethode (virtueller Strahler) eine exakte, klare und leicht auswertbare Lösung des Problems der Ausbreitung über eine ebene Erde ergibt (Strutt [5], Walmsley [6], Wilmoth [7], McPetric [8], Violet [9]).

Wir bringen in Kürze Darstellung und Resultate, ohne auf die mathematische Ableitung einzugehen:

In Abb. 1 sei O_0 der Sender, während O_r sein Spiegelbild und P den Empfangspunkt darstellen. Die Feldstärke in P setzt sich aus zwei Anteilen zusammen, einem von O_0 und einem von O_r ausgehenden; sie ist

$$E = E_0 \left(1 + \Re \frac{r_1}{r_2} \left[-k (r_2 - r_1) \right] \right) \quad (*) \quad (1)$$

Dabei ist \Re der im allgemeinen komplexe, von ϵ und σ , bzw. dem Brechungsquotienten $n = k_2/k_1$ und den Winkelfunktionen der Strahlrichtung abhängende Koeffizient für das Spiegelbild in O_r . Bezüglich der Koeffizienten, deren Betrachtung hier zu weit führen würde, sind in [9] Ableitung und Formeln und in [7] außerdem Kurventafeln für verschiedene Werte von ϵ und σ zu finden. Der Phasenunterschied beider Strahlen wird durch $\left[-k (r_2 - r_1) \right]$ angegeben. E_0 ist die direkte Feldstärke im Abstände r_1 (vgl. Formelanhang 2); die Feldstärkeabnahme gemäß E_0 erfolgt mit r^{-1} . Für Einfallswinkel α nahe an 90° (streifender Einfall bei großer Entfernung) ist sowohl für horizontalen wie

*) Anmerkung: Wir benutzen das sog. „Versor“-Zeichen $\lfloor X$ an Stelle von eix

für vertikalen Strahler $R \approx -1$, auch bei nicht vollkommen leitender Erde. Da $r_1 \approx r_2 \approx D$ ist, erhält man (Ableitung s. Anhang) die sehr wichtige Näherungsformel

$$E = E_0 \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda D} \quad (2)$$

aus welcher der Einfluß hervorgeht, welchen die Höhen von Sender und Empfänger auf die Feldstärke ausüben. Da in E_0 selbst die Entfernung D im Nenner steht, ergibt sich bei Reflexion unter flachen Winkeln also eine Feldstärkeabnahme mit dem umgekehrten Quadrat der Entfernung, d. h. mit D^{-2} (inverse square law), sowohl für vertikale wie horizontale Polarisation der sendenden Antenne. Diese Methode und im speziellen Falle dieses Gesetz bilden die theoretische Grundlage einer ganzen Reihe von Arbeiten, die sich auf die Ultrakurzwellen- und Kurzwellen-Ausbreitung für mittlere Entfernung erstrecken. Verwendet wird obiges Entfernungsgesetz von nachstehend genannten Autoren: Schelleng, Burrows, Ferrell [10]; Burrows, Decino, Hunt [11]; Englund, Crawford, Mumford [12]; Trevor und Carter [13]; McPetrie [8a]; Beverage [14].

Auch auf Rahmenantennen läßt sich das D^{-2} -Gesetz anwenden; in E_0 ist dann als Strahlerlänge die effektive Höhe des Rahmens einzusetzen. Nach einer Arbeit von McPetrie und Pressey [8a] über eine entsprechende Feldstärkemeßmethode gilt das D^{-2} -Gesetz jedoch nur für horizontal liegende Rahmen, und zwar mit guter Genauigkeit. Für aufrechte Rahmen dagegen wurde eine Abhängigkeit gemäß $D^{-1,4}$ gefunden, die unter dem Einfluß der Erdbodeneigenschaften zustande kommt.

3. Ausbreitung unter Berücksichtigung der Erdkrümmung

a) Beugung elektrischer Wellen um eine Kugel

Dieses nicht leichte Problem ist von einer ganzen Reihe von Autoren behandelt worden, von Poincaré [15], Debye [16], Watson [17], Laporte [18], van der Pol [19] und anderen. Da es für die Erklärung der Langwellenausbreitung um die Erde herum praktische Bedeutung hat, ist es schon frühzeitig in Angriff genommen worden. Gegenüber dem ebenen Problem, das einen Sonderfall darstellt, ist es bei dem allgemeinen nicht mehr möglich, das Gesamtfeld durch Ansatz eines virtuellen Strahlers darzustellen. Die in die Erde hineingebrochenen Strahlen werden bei ihrem Wiederaustritt teils nochmals ins Innere zurückreflektiert, teils in das dünnere Medium, die Luft, herausgebrochen. Durch diese vielfachen inneren Reflexionen ergibt sich eine unendliche Zahl von Austrittsstellen auf der Kugel neben den bis zum Horizont reichenden Punkten der erstmaligen Reflexion. Wie weit man bei der hohen Dämpfung besonders der kurzen Wellen durch das Erdreich mit den wieder austretenden Strahlen wirklich zu rechnen hat, ist fraglich. Es ist jedenfalls bisher noch keine Behandlungsmethode bekannt geworden, nach der man wie beim ebenen Problem durch geeigneten Ansatz virtueller Strahler zu einer eindeutigen und geschlossenen Lösung des Gesamtproblems unter Einhaltung der Grenzbedingungen gelangen könnte. Immerhin kommen v. d. Pol und Bremmer [19d] in ihrer hier hauptsächlich zu berücksichtigenden Arbeit durch geeignete Kombination und Summierung ihrer Reihenausdrücke zu einer anschaulichen Deutung der genannten vielfach reflektierten und vielfach abgestrahlten Wellen.

Unter Beugung versteht man ganz allgemein die Veränderung der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen bei Vorhandensein von Hindernissen. Ein solches ist hier die Kugel, die elektrisch als homogen und in homogener Atmosphäre eingebettet angesehen wird. Der grundsätzliche Ansatz ist der gleiche, ob es sich um den Lichtdruck auf kleinste Teilchen oder um vorliegendes Problem der drahtlosen Ausbreitung handelt (vgl. Abschnitt II 1b); er geht aus von den Maxwell'schen Gleichungen oder von der Wellengleichung, die in der Regel für den Mittelpunkt der Kugel als Ursprung angeschrieben werden. Vorausgesetzt wird bei den genannten Arbeiten als Ursprung des Feldes ein vertikaler Sendedipol (mit Ausnahme der Arbeit von Debye), der sich im Punkte S befindet, während das Feld in einem beliebigen Punkte P gesucht wird (Abb. 2). Gemäß den Ausführungen in II 1b) wird das Feld im Luftraum aus zwei Teilfeldern bestehend angenommen, dem ungestörten, direkten und einem sekundären Felde, also $Z_1 = Z_0 + Z_2$. Im Erdrum bestehe das Feld Z_2 . Eine Ableitung der Lösung für Z_0 und Z_2 ist im Anhang 3) gezeigt, da in den Arbeiten der eigentliche Ansatz meist nur in großen Zügen gegeben wird. Man findet eine allgemeine Lösung ΣZ_n , wobei Z_n sich aus einer Besselschen und einer Kugelfunktion erster Art zusammensetzt. Im Außenraum ist zu benutzen die Hankelsche Funktion, im Innenraum die eigentliche Bessel-

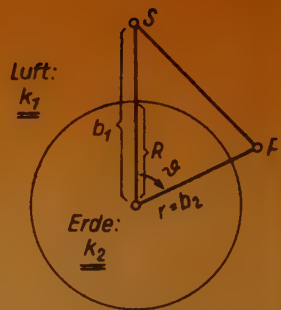


Abb. 2

funktion. Auch das primäre Feld, das durch $Z_0 = \frac{1}{r_1} \underline{kr_1}$ gegeben ist, läßt sich

als eine unendliche Summe von Ausdrücken darstellen, die sich genau wie die Z_n aus Besselschen und Kugelfunktionen zusammensetzen. Die Koeffizienten sind teils gegeben als Funktionen des Senderabstandes, teils durch die Grenzbedingungen an der Trennfläche (vgl. II 3b), mit deren Hilfe sie berechnet werden müssen. Die Grenzbedingungen lauten hier

$$D_r Z_1 = D_r Z_2 \quad \text{und} \quad k_1^2 Z_1 = k_2^2 Z_2$$

Durch Berechnung der Ausdrücke für die Koeffizienten der Reihe wäre an sich die Lösung gegeben, wenn diese nicht außerordentlich schlecht konvergierte (bei anfänglicher Divergenz), so daß nach Angabe v. d. Pols erst vom 1000. Gliede ab für Ultrakurzwellen eine hinreichende Konvergenz besteht.

Das Bestreben mußte daher sein, durch geeignete, andersartige Zusammenfassung und Summierung der an sich die allgemeine Lösung darstellenden Reihe eine neue zu finden, die besser konvergiert, so daß nur wenige Glieder für numerische Auswertung genügen. Auf Einzelheiten kann hier wegen der Schwierigkeit der rein mathematischen Umformungen nicht eingegangen werden. Es ist v. d. Pol und Bremmer



Abb. 3

gelingen, eine solche stark konvergierende Reihe zu finden, bei welcher man zur Berechnung der Feldstärke bei großer Entfernung, also hier zur Betrachtung der Beugung jenseits der Sichtweite mit dem ersten Gliede auskommt. Interessant ist, daß die von ihnen vor-

genommenen rechnerischen Zusammenfassungen eine physikalische Deutung im Sinne einzelner Strahlenbündel erlauben, welche vielfache Reflexionen im Kugellinnern erleiden und an der Oberfläche wieder austreten. Infolge der Dämpfung durch die Erde dürften dabei praktisch nur die nahe der Erdoberfläche, also unterhalb derselben sehr flach verlaufenden Strahlen in Frage kommen, soweit nicht überhaupt dem erstmalig reflektierten Strahlenbündel W_1 der überwiegende Teil der Sekundärstrahlung zuzuschreiben ist (Abb. 3).
(Fortsetzung folgt)

Referate und Zeitschriftenschau

Kurzwellenausbreitung und Dopplereffekt

Die von der Station WWV in Washington zu Meßzwecken ausgesandte Normalfrequenz von 15 000 kHz (20 m) wird auf der Senderseite mit einer Genauigkeit von 1×10^{-8} eingehalten. Demgegenüber zeigten die an einem Nachmittage im Dezember 1945 in Tatsfield, einer Empfangsstation der British Broadcasting Corporation, durchgeführten Messungen der Normalfrequenz Frequenzabweichungen, die sich zwischen $2 \cdot 10^{-8}$ und $7 \cdot 10^{-8}$ bewegten und im Durchschnitt bei $3 \cdot 10^{-8}$, entsprechend 0,5 Hz, lagen. Bei anderen Gelegenheiten wurden sogar noch größere Abweichungen festgestellt; auffallend war in allen Fällen die verhältnismäßig schnelle Änderung der Größe und des Vorzeichens dieser Abweichungen. Hier kann es sich kaum noch um Fehler des Senders WWV handeln, vielmehr ist man zu der Vermutung veranlaßt, daß die beobachtete Frequenzänderung erst bei der Ausbreitung zwischen Sender und Empfänger erfolgt, und ein von der reflektierenden Ionosphäre hervorgerufener Dopplereffekt die Ursache für diese Änderung ist*).

Bekanntlich sendet ein bewegter Schwingungserzeuger infolge des

Dopplereffektes eine etwas andere Frequenz als im Ruhezustand aus. Die Frequenz f_1 des bewegten Senders ist durch die Gleichung

$$f_1 = \frac{f}{\left(1 \mp \frac{v}{c}\right)}$$

gegeben, wo v dessen Geschwindigkeit, f die Frequenz des ruhenden Senders und c die Lichtgeschwindigkeit ist. Das negative Zeichen im Nenner gilt, wenn sich der Sender zum Empfänger hin bewegt. Auch wenn der Sender in Ruhe ist, der Empfänger sich aber bewegt, tritt ein Dopplereffekt und damit eine Frequenzänderung ein, wobei die im bewegten Empfänger gemessene Frequenz f_1 durch die Gleichung

$$f_1 = f \cdot \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$$

bestimmt ist. Das positive Zeichen ist gültig, wenn sich der Empfänger zum Sender hin bewegt.

Nun kann noch der Fall eintreten, daß zwar Sender und Empfänger feste Standorte haben, die Schwingungen aber nur über einen in Bewegung befindlichen Reflektor oder Spiegel vom Sender zum Empfänger gelangen. Die F-Schicht der Ionosphäre wirkt ja als solch ein Reflektor für Kurzwellen und ermöglicht erst deren Empfang über größere Entfernungen hinweg. Ein in Bewegung befindlicher Reflektor muß einerseits als bewegter Empfänger ande-

*) Wireless Engineer, Band 24, Nr. 285, Juni 1947, Seite 162-167.

rerseits als bewegter Sender aufgefaßt werden, und es treten die durch die beiden Gleichungen definierten Effekte gleichzeitig auf, die von dem Reflektor ausgehende Frequenz ist also

$$f_1 = f \cdot \frac{\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)}{\left(1 \mp \frac{v}{c}\right)} = f \cdot \frac{c \pm v}{c \mp v}$$

In der Gleichung gelten die oberen Zeichen, wenn der Reflektor sich auf den Empfänger hinbewegt. Die durch den Reflektor bedingte Frequenzänderung $f_d = f_1 - f$ ist dann gegeben durch

$$f_d = f \cdot \left(\frac{c \pm v}{c \mp v} - 1 \right)$$

Ist die Geschwindigkeit des Reflektors klein gegenüber der Lichtgeschwindigkeit, so ist für f_d die Näherung

$$f_d = f \cdot \frac{2v}{c} \text{ hinreichend genau. Ist}$$

man umgekehrt in der Lage, die Frequenzänderung f_d durch Messungen hinreichend genau zu bestimmen, so ergibt sich die Geschwindigkeit des Reflektors zu

$$v = \frac{c \cdot f_d}{f \cdot 2} = \frac{\lambda}{2} \cdot f_d$$

wo λ die Wellenlänge in Metern ist.

Geht man von der Voraussetzung aus, daß die eingangs erwähnten gemessenen Frequenzabweichungen tatsächlich von einer Bewegung der F-Schicht herrühren, so ist man in der Lage, die durch diese Bewegung hervorgerufene Veränderung der Reflexionshöhe zu berechnen. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß die Zahl der Reflexionen an der F-Schicht nicht bekannt war, sondern nur vermutet werden kann; eine zwei- oder dreimalige Reflexion wird als die wahrscheinlichste Möglichkeit angesehen. Dementsprechend ist also die gesuchte Geschwindigkeit nur die Hälfte bzw. ein Drittel des Wertes,

der sich aus der gemessenen Frequenzabweichung von 0,5 Hz errechnet:

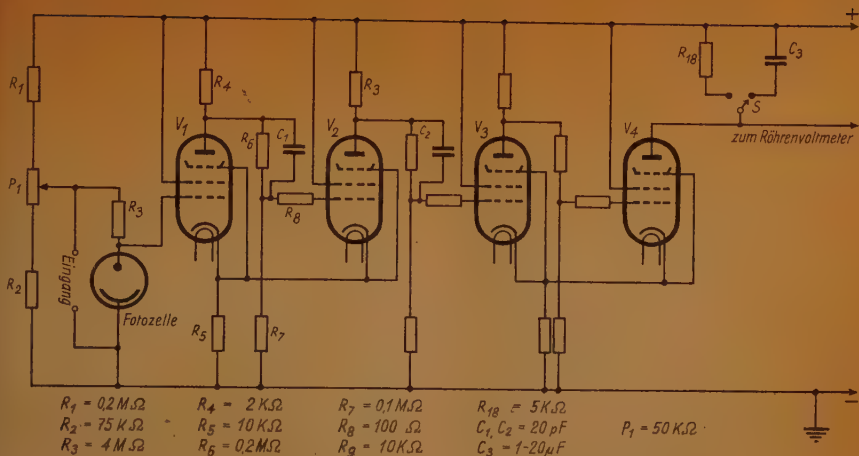
$$\frac{0,5}{\frac{\lambda}{2}} \times 20 = 5 \text{ msec}^{-1}, \text{ für zweifache}$$

Reflexion also 2,5 msec⁻¹ und für dreifache Reflexion 1,6 msec⁻¹. Diese Geschwindigkeiten geben die Längenänderungen des Strahlenweges zwischen dem Erdboden und der Reflexionsschicht, aber noch nicht die Höhenänderung dieser Reflexionsschicht wieder. Das Verhältnis der Höhenänderung zu der Längenänderung des Strahlenweges ist eine wieder von der Reflexionshöhe abhängige Variable und erfordert daher eine umständliche Berechnung. Da es sich unter den gegebenen Umständen sowieso nur um eine größenordnungsmäßige Berechnung handeln kann, genügt eine empirische Abschätzung für den Wert dieses Verhältnisses, der sich für den Fall der dreifachen Reflexion zu etwa 2 und für den der zweifachen Reflexion zu 2 bis 3 ergibt. In dem beobachteten Falle hätte sich also die Höhe der reflektierenden Schicht mit einer Geschwindigkeit verändert, die zwischen 3,2 und etwa 6 Meter je Sekunde liegt, wenn die gemessene Frequenzabweichung voll und ganz auf Ionisationsvorgänge in der F-Schicht zurückgeführt wird.

Die Messung kurzzeitiger Vorgänge

Zur Messung kurzdauernder Vorgänge, etwa für die Prüfung fotografischer und kinematografischer Kamerasverschlüsse, hat die Cinema-Television Ltd. ein Gerät gebaut, das die Längenmessung von Zeitintervallen innerhalb eines Bereiches von 1/2000 bis 1/10 Sekunde mit einer Genauigkeit von $\pm 2\%$ gestattet *). Zur Zeitmessung wird ein aus Elek-

*) S. S. West und L. C. Bentley, An Electronic Millisecond Timer, Electronic Engineering, Band 19. Nr. 293, Juli 1947, Seite 207.



tronenröhren bestehender Schaltkreis verwendet, der während der zu bestimmenden Zeitdauer einen Normalkondensator mit konstantem Strom aufladet; die am Kondensator erzielte Spannung wird mit einem Röhrenvoltmeter gemessen, das unmittelbar in Millisekunden geeicht ist.

Das vereinfachte Prinzipschaltbild des in dem Gerät benutzten „Elektronenschalters“ zur Aufladung des Normalkondensators ist in der obestehenden Skizze dargestellt. Der Schaltkreis wird entweder von einer Fotozelle oder durch eine äußere Spannungsquelle gesteuert, es kann also die Dauer von optischen und elektrischen Vorgängen bestimmt werden. Bei Belichtung der Fotozelle verursacht der Fotostrom einen Spannungsabfall an R_9 , so daß das Gitter der Röhre V_1 einen negativen Spannungsstoß erhält und der aus den Röhren V_1 und V_2 bestehende Schaltkreis ausgelöst wird. Die Stromumschaltung geht so vor sich:

Die Röhren V_1 und V_2 haben einen gemeinsamen Katodenwiderstand R_6 , der als Koppelung zwischen diesen beiden Röhren dient. Die Arbeitsdaten von V_1 sind so gewählt, daß bei unbelichteter Fotozelle, bzw. der

Eingangsspannung Null, ein mittlerer Anodenstrom fließt. Durch entsprechende Wahl von R_6 wird die Katode von V_2 so stark positiv gegenüber deren Gitter vorgespannt, daß ein Strom durch V_2 nicht fließen kann. Erhält das Gitter der Röhre V_1 durch Belichtung der Fotozelle einen negativen Spannungsstoß, so wird der Anodenstrom in V_1 vermindert, der Spannungsabfall am Katodenwiderstand R_6 sinkt und es beginnt ein Strom durch die Röhre V_2 zu fließen. Der Anodenstrom durch V_2 erhöht den Spannungsabfall an R_6 , der Anodenstrom durch V_1 sinkt dadurch weiter und die Spannung an der Anode von V_1 steigt an, das Gitter von V_2 wird positiver und der Strom durch V_2 wächst weiter. Dieser Vorgang pflanzt sich lawinenartig fort.

Der ganze Umschaltvorgang, der die Röhre V_1 sperrt und die Röhre V_2 stromführend macht, dauert nur den Bruchteil einer Millisekunde, ist jedenfalls gering gegen die zu messende Zeitdauer. Für die Umschaltung spielt der Koppelungskondensator C_1 eine wichtige Rolle. Auf der einen Seite muß C_1 so groß sein, daß eine ausreichende Koppelung zwischen V_1 und V_2 gesichert ist und der allerdings

ziemlich steil einsetzende Spannungsanstieg an der Anode von V_1 auf das Gitter von V_2 gegeben wird, andererseits soll aber die Spannung an C_1 sofort nach der Umschaltung möglichst schnell absinken, damit die Gitterspannung von V_2 während der Meßdauer nur durch den Spannungsteiler R_4 , R_6 und R_7 bestimmt wird, um einen immer gleichmäßigen Anodenstrom zu erhalten. Diese Konstanz ist sehr wichtig, damit die gesperrte Röhre eine Gittervorspannung durch den Katodenwiderstand R_5 erhält, die unterhalb der erforderlichen Sperrspannung bleibt. Anderenfalls würde der Schaltkreis instabil sein und sich wie ein Multivibrator benehmen, den bereits kleine Spannungsschwankungen am Gitter anstoßen könnten.

Durch das Potentiometer P_1 kann die Größe des zur Umschaltung erforderlichen negativen Spannungstoßes, und damit die zur Umschaltung ausreichende Lichtstärke an der Fotozelle, entsprechend den herrschenden Umständen eingestellt werden. Bei Beendigung der Belichtung der Fotozelle erhält das Gitter der Röhre V_1 einen positiven Spannungstoß und die Umschaltung geht in umgekehrter Richtung vor sich: V_1 wird stromführend und V_2 wird gesperrt, durch V_2 fließt also nur während der Belichtung der Fotozelle, der zu messenden Zeitdauer, ein Anodenstrom.

Wenn auch der für die Stromumschaltung von V_1 auf V_2 bzw. umgekehrt, benötigte Zeitraum gegenüber dem zu messenden Zeitintervall vernachlässigbar klein ist, kann der Anodenstrom von V_2 noch nicht als Ladestrom des Normalkondensators herangezogen werden, da er nicht genügend rechteckig ist. V_2 steuert deshalb den aus den Röhren V_3 und V_4 bestehenden, stark übersteuerten Gleichstromverstärker, der die erforderliche exakte Rechteckspannung liefert und den Normalkondensator C_3 während der

Meßdauer mit absolut konstantem Strom aufladet. C_3 ist durch einen Stufenschalter zwischen 1 und 20 μF einstellbar. Die Spannung an C_3 wird von einem Röhrenvoltmeter bestimmt; da diese Spannung streng proportional der zu bestimmenden Zeitdauer ist, läßt sich das Voltmeter unmittelbar in Zeitintervallen eichen. Zur Eichung ist der Ladestrom zu ermitteln, der sich durch den Eichwiderstand R_{18} und den an diesem festgestellten Spannungsabfall bestimmen läßt.

Dr. F.

Funktelefonie

Seit Mitte 1946 ist bei Cheyenne Wells an der Ostgrenze des Staates Colorado, USA, ein kleines Funktelefonienetz*) versuchsweise in Betrieb. An die Vermittlungsstelle Cheyenne Wells sind 8 abgelegene Farmen, 18 bis 34 km entfernt, angeschlossen. Die Entfernungen zwischen den Antennen sind etwas kleiner als Sichtweite.

Das angewendete Verfahren arbeitet wie ein Fernsprechnet mit Gemeinschaftsbatterie und Handvermittlung. Die Vermittlungsstelle hat einen Sender und zwei Empfänger. Normalerweise ruht der Sender, während die Empfänger aufnahmebereit stehen. Nimmt ein Teilnehmer den Hörer ab, so beginnt der Teilnehmersender zu strahlen; hierdurch setzt er bei der Zentrale ein Relais in Tätigkeit, das den Sender einschaltet, und stellt die Verbindung zur Vermittlung her. Das Gespräch kann sowohl auf andere Funkteilnehmer, als auch auf das sonstige Fernsprechnet gelegt werden. Nach Beendigung des Gespräches schaltet das Auflegen des Hörers Sender und Vermittlung wieder ab.

Der Hauptsender, der auf einer Frequenz von 44,2 MHz arbeitet, ist kristallgesteuert und frequenzmoduliert (Bandbreite ± 15 kHz). Seine

*) J. Harold Moore, Paul K. Seyler und S. B. Wright: Experimental Rural Radiotelephony; „El. Engineering“ Nr. 4/47, S. 346/47

Ausgangsleistung beträgt 60 Watt, die Energie wird dem Ortsnetz (110 V, 60 ~) entnommen. Die Sendeantenne auf 30 m hohem Mast ist vertikal polarisiert. Die Teilnehmersender arbeiten mit 49,0 und 49,2 MHz und werden aus 32-Volt-Batterien gespeist; ihre Leistung ist 10 Watt. Die Weckimpulse gibt die unmodulierte Trägerwelle.

Erfahrungen: Hauptschwierigkeiten waren gelegentliche Interferenz mit frequenzmodulierten Rundfunksendern, wenn diese stärker einfielen als die Strahlung der Vermittlungsstelle, sowie Ansprechen der Weckvorrichtung bei Gewittern (Abhilfe durch Einführung eines selektiven Wecksignals). Sonst waren nur Röhren und Zehacker zu ersetzen.

Der Versuchsbetrieb soll der Ausarbeitung einer Standardanlage für ländliche Funktelefonie in den USA die-

nen. Dafür ist bereits das Frequenzband zwischen 44 und 50 MHz vorgesehen. S.

Die Zukunft des Ringtransformators

Der Haupteinwand gegen den Ringtransformator wird mit den Schwierigkeiten begründet, die das Wickeln des ringförmigen Kernes bereiten. Hierfür sind Spezialwickelmaschinen erforderlich, die die Herstellung des Transformators teuer und unwirtschaftlich machen. Es ist daher kein Wunder, daß sich der Ringtransformator bis jetzt lediglich in der Telephonindustrie eingeführt hat, weil er infolge der toroidalen Wicklung geringe Streuung hat, gegen äußere Magnetfelder verhältnismäßig unempfindlich ist und daher mehrere Transformatoren ohne besondere Abschirmungen auf verhältnismäßig kleinem Raume untergebracht werden können.



*Weitverkehr
Rundfunk
Elektroakustik
Fernschreiber
Eisenbahnsicherungsdienst
Bauelemente für
Telefonie und Telegrafie
u. a. m.*

LORENZ

C. Lorenz A.-G. Berlin-Tempelhof

Außerdem wurde der Ringtransformator überall dort bevorzugt, wo aus klimatischen Gründen ein luft- und wasserdicht abgekapselter Transformator gebraucht wird. Hierzu gehörte vor allem die Verwendung in Flugzeugen, die den verschiedensten klimatischen Bedingungen ausgesetzt sind, und in Funkgeräten für die Tropen. Der Einschluß des Ringtransformators in zylindrische Blechgefäße ist sehr viel einfacher und raumsparender, so daß ein gekapselter Ringtransformator erheblich kleiner ist als der in einem würfelförmigen Gefäß gekapselte Transformator herkömmlicher Bauart.

Diese Vorteile des Ringtransformators reichen aber in keinem Falle aus, um den üblichen Transformator mit der so viel billigeren Spulenwicklung verdrängen zu können. Es ist daher bemerkenswert, daß jetzt auf einen

weiteren Vorteil des Ringtransformators hingewiesen wird, der sich aus der jüngsten Entwicklung der magnetischen Materialien ergibt*): die einfache und bequeme Form des Kernes.

So wird zum Beispiel durch Kaltwalzen von Siliziumeisen ein kornorientiertes Material mit außerordentlich guten magnetischen Eigenschaften gewonnen. Geringe Verluste und hohe Permeabilität sind das Kennzeichen der aus diesem Material hergestellten Transformatorkerne. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß der magnetische Fluß der vorherrschenden Kornrichtung folgt. Diese Bedingung schließt die Zusammensetzung des Transformatorkernes aus gestanzten Lamellen aus.

In den Vereinigten Staaten hat man

*) A. L. Morris, Toroidal Transformers, Electronic Engineering, Band 19, Nr. 233, Juli 1947, Seite 218.

KURT KÖNIG

BERLIN-FRIEDENAU • ODENWALDSTRASSE 11 • FERNSPRECHER: 24 66 06

ABTEILUNG I:

Rundfunk- und Elektro-Großhandlung,
Spezialität: Bastler-, Reparatur- und
Ersatzteile

ABTEILUNG II:

Fabrikation von Flußlicht-Skalen für
Industrie und Bastler

ABTEILUNG III:

Neuzzeitliche fachmännisch geleitete
Rundfunk-Entwicklungs- sowie Elektro-
und Lautsprecher-Reparatur-Werkstatt



NUR FÜR WIEDERVERKÄUFER

sich mit dem sogenannten C-Kern zu helfen gesucht: das zu einem dünnen Band ausgewalzte Siliziumeisen wird in kontinuierlicher Weise zu einem rechteckig-ovalen Ringkern aufgewickelt, der dann in der Mitte aufgeschnitten wird, so daß zwei etwa C-förmig aussehende Kernhälften entstehen. Auf diese Weise ist es möglich, die Windungen in der bequemeren Form der Spulenwicklung auf den Kern aufzuschieben. Das Aufschneiden des Kernes ist aber recht schwierig, und außerdem besteht die Gefahr, daß die einzelnen Lagen an den Schnittstellen aufblättern, wenn sie nicht ganz einwandfrei aufeinandergekittet sind. Der zusammengesetzte Kern hat dazu die Neigung, wieder auseinanderzufallen, falls die Stoßstellen nicht ganz einwandfrei aufeinander passen.

In allen Fällen, wo das Kernmaterial zunächst zu einem dünnen Band aus-

gewalzt werden muß, dürfte voraussichtlich nur der aus diesem Band gewickelte Ringkern in Verbindung mit Toroid-Windungen eine technisch einwandfreie Lösung bieten. Da das kostspielige Aufschneiden des Kernes vermieden wird, ist es unter Umständen sogar möglich, derartige Ringtransformatoren trotz der Spezialwickelmaschinen wirtschaftlicher herzustellen als mit einer Spulenwicklung.

Aber noch in einem anderen Falle ist dem Ringtransformator der Vorzug zu geben: Transformatoren für höhere Frequenzen verlangen sehr dünne Kernbleche, wenn das Kernmaterial voll ausgenutzt werden soll. Die hohen Flußdichten machen eine einwandfreie Isolierung zwischen den einzelnen Kernblechen erforderlich, wobei die Isolation dünn gegenüber der Blechstärke sein muß. Es hat sich gezeigt, daß eine Oxydschicht auf Nickel-



TELEFUNKEN

wie früher

die deutsche Weltmarke

BERLIN-SCHÖNEBERG, MAXSTRASSE 8

WERKE IN BERLIN, HANNOVER, ULM, DACHAU

nuierlich zu einem Ringkern gewickelt wird. Der Streifen kann in einem fortlaufenden Verfahren mit einer isolierenden Schicht überzogen werden, für welchen Zweck die Kataphorese am erfolgversprechendsten zu sein scheint. Dr. F.

Beispiel: 650 kOhm; Körper blau, Kappe grün,
Ring **gelb**.

nach Entwürfen der Verfasser von

Sommermeier . : 21

Trester : 11

FUNK UND TON erscheint mit Genehmigung der französischen Militärregierung. Monatlich 1 Heft. Verlag: VERLAG FÜR RADIO-FOTO-KINOTECHNIK G.M.B.H., Berlin N 65, Glasgower Straße 2, Herausgeber und verantwortlich für den Inhalt: Professor Dr. Gustav Leithäuser. Bezugspreis 3,— RM. je Heft, vierteljährlich 9,— RM. zuzüglich Streifbandporto: in der sowjetischen Zone 8 Pf., in den westlichen Zonen 16 Pf. je Heft. Postcheckkonto: FUNK UND TON Berlin 94 845 (nur für Überweisungen aus Berlin und der sowjetischen Zone). Die Abonnementgebühren werden innerhalb Groß-Berlins durch die Filialboten der Druckerei- und Vertriebs-Gesellschaft m. b. H. kassiert. Bestellungen beim Verlag, bei der Druckerei- und Vertriebsgesellschaft m. b. H., Vertriebsabteilung FUNK UND TON, Berlin W 8, Taubenstr. 48/49, und deren Filialen in allen Stadtteilen Berlins, bei den Berliner Postämtern und den Buch- und Zeitschriftenhandlungen, Anzeigenverwaltung: Berliner Werbe Dienst, Berlin W 8, Taubenstraße 47, Telefon: 42 51 81. Der Nachdruck einzelner Beiträge ist nur mit Genehmigung des Verlages gestattet. Druck: Druckhaus Tempelhof, Berliner Straße 105/106.

VINETA-Funk
FRITZ WPOST

BLN.-LICHTENBERG · FRANKFURTER ALLEE 194 · TEL.: 55 33 49